農業委員會農業試驗所特刊第 88 號

堆肥製造技術

Composting Technology

陳武雄　林俊義
簡宣裕　林木連　編輯
鄭智馨　張明暉

行政院農業委員會農業試驗所
中　華　永　續　農　業　協　會　出版

中華民國八十八年九月

堆 肥 製 造 技 術

Composting Technology

陳武雄　林俊義
簡宣裕　林木連　　編輯
鄭智馨　張明暉

行政院農業委員會農業試驗所
中華永續農業協會　　出版

行政院農業委員會農業試驗所
中華永續農業協會　　主辦
中華土壤肥料學會

美國穀物協會　　協辦

福壽實業股份有限公司
台灣省畜牧廢棄資源再生利用協會　　贊助
南州鄉農會

中華民國八十八年九月

堆肥製造技術研習會　行政院農業委員會農業試驗所　88.4.21~22

陳理事長武雄序文

臺灣地理位置處於高溫、雨量充沛氣候之下，土壤有機物質很容易被分解，養分的淋洗非常快速，再加上農民辛勤耕耘的特性，使得農田幾乎隨時都處於耕作狀態，為了維持作物的產量、品質，所以農民只好施用大量的化學農藥與肥料，然而，此種耕作方式相對使原有生態環境受到嚴重的破壞，土壤的理化性質及土壤中微生物相產生變化，灌溉水及飲用水受到污染，間接或直接影響人類生活品質與健康。

永續農業為同時兼顧農業生產與自然生態環境維護的農業生產技術，也就是在化學農藥、殺草劑及化學肥料的使用量降低或不施用，多用堆肥與綠肥等有機質肥料、採用非農藥病蟲害防治，把農業資材循環利用，使農業生產與自然生態環境間的關係能調合為和諧與平衡。

堆肥及有機質肥料的施用是永續農業耕作方式很重要的一環，惟以不正確與不合適的方法及方式來製造堆肥，則製造出來的堆肥其品質就不會好，施用於田間反而會抑制作物生長或引起作物病蟲害，及影響環境衛生與人類健康。故為了使堆肥製造業者及農民能認識且熟悉堆肥製造之過程、方法與最新技術，以及對堆肥品質好壞與合理的施用量有所瞭解，中華永續農業協會與農業試驗所及中華土壤肥料學會合作，美國穀物協會協助，行政院農業委員會與前臺灣省農

林廳的補助，及福壽實業股份有限公司、臺灣省畜牧廢棄資源再生利用協會與南州鄉農會的贊助下，舉辦本次堆肥製造技術研習會，邀請堆肥業者、各縣市承辦堆肥業務人員及各區農業改良場人員、及永續農業協會會員參加研習，聘請學有專精之國內外學者專家講授堆肥製造原理、各種堆肥製造技術、堆肥性質與品質管制、堆肥機械之介紹、堆肥管理與推廣及施肥策略，且進行堆肥業者發表實際營運經驗及產官學座談會。會後並將專家學者的授課講義與堆肥業者之營運經驗彙集編印成專書，對堆肥製造業者、政府及學術研究相關單位、從事永續農業推廣人員及農民甚具參考價值，茲值付梓，特為之序。

行政院農業委員會副主任委員
中華永續農業協會理事長　　陳武雄　謹識
民國八十八年九月

林所長俊義序文

台灣每年都有許多農業廢棄物產生，若不加以妥善處理會對生態環境造成很大的影響，為了生態與環境的維護，將農業廢棄物再生利用製成堆肥及有機質肥料，施用於農田是極為可行的方法。

又政府單位最近幾年都在推動堆肥與有機質肥料的使用及推廣永續農業的發展，在推動與推廣過程中，在民間有很多公司參與這個產業，但他們所銷售的堆肥之中，品質不一，有的廠牌的堆肥對作物生長與品質的提昇有很多幫助，使得有機農產品受到很多消費者歡迎，價錢也很好，但也有一些廠商對於堆肥的製造技術有一些偏差，所製作出來的堆肥品質有待提昇，將這些品質不良的堆肥施用至田間，則不但不會促進農作物生長反而會危害農作物，而影響到它們的產量。因此我們知道，同樣的材料若以不同的方法去製作堆肥，則它的品質差異很大，這是技術上的問題。因此，我們為了解決技術上的問題並提昇堆肥的製造技術與品質，本所在中華永續農業協會、中華土壤肥料學會及美國穀物協會的協助，行政院農業委員會與前臺灣省農林廳的補助，及福壽實業股份有限公司、臺灣省畜牧廢棄資源再生利用協會與南州鄉農會的贊助之下，辦理了這個研習會。聘請國內學者專家以及美國華盛頓州立大學專家 Dan F. Caldwell 先生授課，邀請堆肥業者、各縣市承辦堆肥業務人員及各

區農業改良場人員、及永續農業協會會員參加研習，這次研習會授課內容函蓋了堆肥製造原理、各種堆肥之製造技術、堆肥性質與品質管制、堆肥機械之介紹、堆肥管理與推廣及施肥策略等，以及安排堆肥業者發表實際營運經驗以切磋製造技術，並將各位專家學者的授課講義及堆肥業者的經驗談編印為專輯，可做為農民、堆肥業者及一般民眾於製造堆肥時參考用之專門技術書籍，特為本序。

農業委員會農業試驗所所長
中華永續農業協會祕書長　林俊義　謹識
民國八十八年九月

黃理事長山內序文

臺灣氣候因為雨量充沛及溫度高，有機物降解速度快，土壤中植物養分容易被大量的雨水淋失，故農民只好施用化學肥料，以維持農作物的品質與產量。然而，此種集約耕作方式及大量投入化學肥料的做法，相對的使環境與生態受到衝擊，對土壤性質產生負面影響，飲用水與灌溉水之品質也可能受到污染，間接或直接影響與傷害生態環境及人類健康。

又臺灣每年有大量農業廢棄物產生，對生態環境及公共衛生造成很大不良的影響，其實這些農業廢棄物含有相當量的養分，應當善加以資源化再次利用。依據行政院農業委員會資料顯示，臺灣地區年化學肥料三要素用量分別為 26.3 萬公噸氮、 7.4 萬公噸磷酐及 10.5 萬公噸氧化鉀，而臺灣年飼養牛、豬及雞排泄物，其所含三要素量可分別為當年化學肥料施用量的 58 % 、 233 % 及 110 % ，因此，禽畜糞尿若能施入土壤中所含之三要素量除氮外，可全部取代化學肥料。故將農業廢棄物製成堆肥及有機質肥料以回歸施用於田間，是最合適且必須進行的工作，如此不但可以補充土壤養分與有機質、維護與增進土地生產力，保護生態環境，且能永續的經營農業。

雖然目前已有許多業者及農民從事農業廢棄物製造堆肥的工作，但一般而言對於製造堆肥所需正確的概念與技術仍有待加強，且堆肥製造技術日新月異，

因此，本學會與中華永續農業協會及行政院農業委員會農業試驗所合作辦理，美國穀物協會協辦，在行政院農業委員會與前臺灣省農林廳的補助，及臺灣省畜牧廢棄資源再生利用協會、南州鄉農會與福壽實業股份有限公司的贊助下，舉辦本次堆肥製造技術研習會，聘請國內學者專家及美國華盛頓州立大學 Dan F. Caldwell 先生講授堆肥製造原理、各種堆肥製造技術、堆肥性質與品質管制、堆肥機械之介紹、堆肥管理與推廣及施肥策略等，並進行堆肥業者發表實際營運經驗與產官學座談會，相信本研習會能讓與會之堆肥業者、各縣市承辦堆肥業務人員及各區農業改良場人員、及永續農業協會會員於堆肥製造技術與管理、堆肥品質之認識與提昇以及正確堆肥施用法與用量的專門知識上獲益良多。本研習會又將專家學者的授課講義與堆肥業者之營運經驗編印成專輯，對於堆肥製造業者、政府及學術研究相關單位、從事永續農業推廣人員及農民應甚具參考價值，茲值付梓，特撰序文，共同為有機廢棄物處理與利用而努力。

中華土壤肥料學會理事長
中華永續農業協會副理事長
農業委員會臺南區農業改良場場長 黃山內 謹識

民國八十八年九月

行政院農業委員會農業試驗所　林所長俊義致歡迎詞

各位參加研習會的貴賓，大家好：

今天與明天我們有一連兩天的研習會，這個研習會主要是針對現在政府與民間非常重視的堆肥製造技術與應用而舉行。辦理此次堆肥製造研習會的原因，是因為政府單位最近幾年都在推動堆肥與有機質肥料的應用及推廣永續農業的發展，在推動與推廣過程中，在民間有很多公司參與這個產業，但他們所銷售的堆肥之中，品質良莠不齊，有些堆肥製造的非常好，對我們農作物增產的影響非常大，而且對品質的提昇有很多的幫助，因此我們在整個社會上可以看到很多的有機農產品，且受到很多消費者歡迎，價錢也很好，但也有一些堆肥廠對於製造堆肥的技術有一些偏差，所製作出來的堆肥，成分不良或者醱酵不夠而夾雜著很多對作物有不良影響的微生物，這些醱酵不夠的堆肥若施用至田間裡，不但不會促進農作物的生長反而會危害農作物，影響到它們的產量。農林廳與農委會這幾年之間也曾經協調過好幾個個案，這些個案是堆肥工廠所出售的堆肥施用至田間後，整個田間農作物慘遭到危害或微生物的感染，甚至全部死掉，所以堆肥製作的好壞會影響整個農作物的生育及品質。因此我們知道，同樣的材料若以不同的方法去製作堆肥，則它的品質差異很大，這是技術上的問題，所以我們為了解決技術上的問題並加以提昇堆肥製造技術，故在中華永續農業協會、中華土壤肥料學會及美國穀物協會的協助下，我們辦理了這個研討會。

感謝行政院農業委員會與農林廳補助及福壽實業股份有限

公司、臺灣省畜牧廢棄資源再生利用協會與南州鄉農會的贊助，所以我們才能在今明兩天辦理連續 2 天研討會。這次研討會共分為 4 個部份，都特別請了很多的專家來為我們做專題報告，同時美國穀物協會也邀請了一位美國專家 Dan F. Caldwell 先生來為我們演講，介紹美國製造堆肥的經驗談，他們已做很久且成效非常好，利用率也非常高，因此感謝美國穀物協會在這方面幫了很大的忙。在此歡迎各位的蒞臨參加這個堆肥製造技術的研討會，也再次感謝中華永續農業協會、中華土壤肥料學會、美國穀物協會、行政院農業委員會、農林廳、福壽實業股份有限公司、臺灣省畜牧廢棄資源再生利用協會與南州鄉農會在我們辦理研習會的過程中，給予我們經費、人力及連繫上的補助、贊助及支援，也感謝農業試驗所農化系工作同仁的安排，更感謝各位的蒞臨參加，最後敬祝各位身體健康與萬事如意，謝謝！。

行政院農業委員會　李技正育義致詞

各位先生、女士、專家及學者，大家好：

很榮幸今天有這個機會參加這個盛會，覺得很難得，有機質肥料，可以說是有農業就有有機質肥料及堆肥，今天辦這個堆肥技術研習會，目的是要提昇堆肥製造技術及品質，這次研習會能邀請到農林廳、中華永續農業協會、中華土壤肥料學會、美國穀物協會林代表及 Dan F. Caldwell 先生來共襄盛舉，想必研習會的內容是很精彩，讓蒞臨參與本研習會的各位嘉賓受益良多。

今天我就利用這個機會提出三點報告。第一點為推廣使用有機質肥料的目的，其目的在於增加土地生產力，大家都知道，農業是國家的根本，而土壤是農業之根源，因為所有農作物的根部都是長在土壤中，若土壤肥沃則所生產的農作物一定是健康，消費者吃了健康的農作物，大家一定會更健康，而使土地生產力提高的方法很多，其中一個就是提高土壤的有機質含量，在臺灣這個溫度高與溼度高的地理環境及農田耕耘利用頻率高的情況下，土壤中的有機質消耗特別快，如果沒有適當的補充，後果就不堪設想，所以適當的補充土壤有機質是有助於地力的維護與增進，且是必要的措施，又這幾年來大家都感覺到各種農作物的品質都提昇很多，此與有機質肥料也有直接的關係，就剛才說過，有農業就有有機質肥料，記得老子在 2 千 5 百年前說過一句話「歸根復命」，大家也常提到落葉歸根，這就是我們使用有機質肥料措施理念的來源，政府從光復以來就一直推廣有機質肥料的使用，

比較關鍵的施政是從民國 75 年開始，推廣使用低水分含量的堆肥，過去使用的堆肥，其水分含量大都在 60 - 70 % 之間，從 75 年開始，推廣使用低水分含量的堆肥，規定水分含量在 35 % 以下，那時也受到很大的壓力，認為堆肥本來水分就應那麼多，為什麼規定使用時水分含量要那麼低？，其實這主要是為了一般搬運與施用的方便及能配合機械施肥的緣故，而且對環境衛生也有很大的幫助，從民國 75 年到現在，大家都已相當習慣堆肥水分含量在 35 % 範圍以內的規定，這點在這段時間經過大家的努力，已有一致的共識，認知到推廣低水分含量有機質肥料更能增加土地生產力與提昇農作物的品質。第二點為有機質肥料的推廣使用是全面性的，在農林廳、農業試驗所及各區改良場的協助下，目前有機質肥料及堆肥正全面性的推廣使用，例如目前畜牧業所設的 30 家堆肥廠，一般肥料業者設立的 32 家堆肥廠，所生產出來的肥料，正透過農政系統大力的在推廣使用，又家庭與農家自產自足的堆肥也列入技術輔導與推廣使用，其他配合的施政計畫有補助堆肥舍、堆肥箱及舉辦講習等措施，所以有機質肥料與堆肥的推廣使用是全面性的施政工作，且自全面展開推廣使用有機質肥料工作以來，已受到民意代表大力的肯定、贊許及支持。第三點談到的是未來使用有機質肥料的走向，推廣使用有機質肥料及堆肥的施政，是基於使用有機質肥料及堆肥可以提高土地生產力，且同時可以使農業廢棄物資源再生利用，大幅降低農業有機廢棄物污染環境的影響，並未刻意宣導排斥農作物施用化學肥料，雖然販賣化學肥料業者因銷售量減少，而一直抨擊政府拿稅金來補助農

民購買有機質肥料的政策，使我們政策執行者感受到很大的壓力，但這個推廣工作對廣大農民與一般民眾有很大的好處，因此我們認為此一施政方針是值得繼續推行。現在推廣使用有機質肥料的工作，由中央政府至地方政府皆列入重要的施政方針，不僅農林廳去年編列四千萬，農委會也編了一億四千多萬，經由農產、畜牧、農經、特產及農民輔導等系統執行補助使用有機質肥料的施政計畫，某些縣、鄉及市政府及農會也寬列經費配合辦理，所以目前使用有機質肥料及堆肥已形成一種重要的耕作方式，這是一個好事情。

進口化學肥料業者的營業額減少，就以有機質肥料及堆肥品質不好，如重金屬含量高，施用後會污染與破壞土壤等理由及話題來責怪與攻擊農政單位，在座的各位堆肥業者請謹記，堆肥及有機質肥料品質的把關，只靠政府辦理肥料登記來管理是不夠的，無論如何請各位業者把品質弄好。個人曾到麻豆鎮訪視文旦柚之栽培管理情形，請問過農民：「文旦品質高低價格相差很大，而有機質肥料及堆肥可以增進文旦柚的品質，為什麼你們不用呢？」，農民回答說：「有機質肥料及堆肥好是好，但我們被那些不屑廠商騙的不敢用，曾用下去，好不容易幾十年的文旦樹就死掉了，被騙的很厲害」。所以從那時候起，農業委員會就下定決心將有機質肥料及堆肥納入管理。畜牧單位認為我們的銅及重金屬訂的容許標準濃度太嚴格，提供寶貴意見，經專家學者討論與認可，已定出符合臺灣實際情況及安全須要的容許濃度標準，將來肥料品質管理方式，將朝消極的不定期抽驗樣品來加以管制，積極的塑立以個別廠商品牌的信譽來做為堆肥及有機質肥料品質

的保証，我們不是放棄肥料品質的管理，而是以個別廠牌商譽做為廠商對堆肥或有機質肥料品質自我要求的無形約束，也是一件很好的事情，無論如何有機質肥料及堆肥的推廣使用若要繼續做下去，做好堆肥品質的保證是一件重要的事情。當把堆肥袋豎立起來，若看到有品質保證的廠牌就可放心的買它，若做到這個程度，則業者、農民及大家都是贏家，且政府也可以比較輕鬆。

現在正推行的有機農業，是以反璞歸真的農業為目標，採取不用化學肥料、殺草劑及農藥等措施來生產農作物，但其中最重要的一項，是不能離開有機質肥料的使用，有機質肥料是有機農業所必需的，故須要廠商配合生產出品質良好的堆肥及有機質肥料，來供應農作生產上的需要，但目前有些廠商把這些堆肥添加了化學肥料，我們開玩笑的說這種有機質肥料，就好像中藥添加了西藥一樣，例如關節炎服用西藥類固醇就可治療，現在有些中藥產品也添加了西藥類固醇，搞得不三不四，不是中藥也不是西藥。不過，個人認為堆肥或有機質肥料不是不可以添加化學肥料，而是必須標明清楚。目前在肥料管理的規定，堆肥添加化學肥料就歸類為雜項有機質肥料，或叫做含有機質複合肥料，但一般堆肥是不能添加化學肥料的，我們對堆肥或有機質肥料所做的管理及配合措施，其最終目的，是要把堆肥與有機質肥料的品質維持在一定的水準之上，這樣對農民、消費者及有機農業的生產都是有利的。

行政院農業委員會中部辦公室　李科長蒼郎致詞

各位先生、女士、專家及學者，大家好：

今天非常高興來參加由我們農業試驗所、中華永續農業協會、中華土壤肥料學會、美國穀物協會共同主辦的堆肥製造技術研習會，農林廳的黃代理廳長因同時間還有其他會議，不能夠分身前來，特別交代我向在座的長官及與貴賓致意，同時向籌備這次會議的全體同仁表示嘉勉和謝意。國內在堆肥製造和使用推廣上，在過去幾年經我們農政、學術研究及推廣等單位以及農民的共同合作配合之下，已獲得相當卓越成就，我們施用堆肥能夠改善土壤肥力及提昇作物產品的品質，這個效益已獲廣大農友的認同與肯定。我們推廣使用的對象也由過去高級水果、花卉及蔬菜等園藝作物，全面推廣到水稻與甜玉米等農作物，依照統計資料顯示，我們每年推廣堆肥使用面積已達 5 萬公頃以上，堆肥的施用量達到 30 萬公噸以上，而且在經過肥料登記管理審核後，取得一般堆肥登記證的肥料廠牌總共有 114 家。另外在指導農家自己產製與使用堆肥的推廣之工作上，我們同仁亦有卓越的成果。省府為了瞭解本省堆肥製造及使用情形，在去年曾經委託專家，針對本省產製的堆肥做一個樣本調查與評鑑，結果發現一般業者與農民製造堆肥的材料來源相當多，且相當的複雜及不穩定，另製造堆肥過程的時間也相當冗長，施用堆肥的機械還不是很多，堆肥售價也有偏高的趨勢。所以如何選用與利用性質既穩定又安全之製造堆肥的材料，如何利用生物的多樣性及微生物來縮短製造堆肥所需要的時間，以及如何

進一步研發更方便施用堆肥的機械，如何推廣與指導農友在合理化施肥之理念下，適時與適量的使用有機質肥料與堆肥，有關這些方面的問題都值得我們再進一步探討與研究。這次研習會的內容非常精彩且有那麼多的人蒞臨參加，可以預期本研習會的成果是相當豐碩，在此敬祝我們研習會順利與圓滿成功，在座長官與貴賓身體健康及萬事如意。謝謝！

美國穀物協會　林代表承謨致詞

各位先生、女士、專家及學者，大家好：

今天很榮幸代表美國穀物協會來跟農業試驗所、中華永續農業協會、中華土壤肥料學會一起參與這次堆肥的研習會，最近我常常看到日本在報導他們的焚化爐發生了問題，就是戴奥辛的問題，聽說在操作焚化爐設施的工作人員血液裡面，戴奥辛濃度比一般人高出百倍之多，焚化爐使用之後，在日本好像有些不好的副作用問題產生，所以在這個時候我們舉辦堆肥製造技術研習會，研討及介紹將有機廢棄物經堆肥化過程製成堆肥，而不以焚燒的方法來處理掉有機廢棄物，感覺特別有意義，剛才和與會的專家聊了一下，大家一致的說我們現在推廣堆肥的製造與使用，這個方向是絕對正確的。我們穀物協會是美國生產玉米、高粱及大麥的農民在臺灣設立的機構，我們主要是在畜牧界及飼料界做事情，不過我可以給各位報告，現在畜牧界也在講有機肉、有機蛋及有機飼料等等，什麼都變成與有機質肥料和堆肥有關。所以我們穀物協會就想說，將剛才提的這幾項穀物應用在塑膠的研製，研發出生物可分解的塑膠，希望使用過後的塑膠可以用來產製堆肥，回歸施用於農田，如此對我們的環境與生態應該有很大的幫助。所以今天我們穀物協會用美國人的錢，在這裡為我們的環境來做些事情，像我們今天的研習會，也是用美國人的錢，一點也沒有用到國人的稅金，所以今天我感覺很驕傲，美國穀物協會專門用美國人的錢為我們國家、社會做事情，剛才我提到說可分解塑膠的研究，本協會以後會加強

進行，我們副代表在此方面已經做了很多工作。這一次很高興請到邱博士，他是一路上陪著我們的專家，聽說他孩子還很小，晚上非常需要他的照顧，但他還是犧牲他的孩子，一直陪著我們由美國邀請來的專家，我們非常感謝。Dan F. Caldwell 先生是美國華盛頓州立大學的一位專家，他在堆肥方面已經研製了 26 年，所以我相信他的經驗可以提供給諸位做一個參考，最後祝大會成功，各位身體健康及萬事如意，謝謝！

第一章　台灣農業生物技術研究之現況及展望

林俊義

行政院農業委員會農業試驗所所長

摘要

生物技術的範圍很廣，凡經由人為操作方式，控制、改變或調節生物之分化、生長、發育，甚至產生變異，而達到生物品種改良之最終目的，所使用之技術或方法均可稱為生物技術。狹義的生物技術則指利用組織培養或基因操作，進行生物品種改良與促進生產之技術。目前傳統品種改良及生產技術，正遭遇瓶頸或進展有限，已無法趕上糧食的需求，必須尋求較有效之生產方式。如何應用生物技術，突破現有品種改良及生物產品之生產障礙，已成為二十一世紀全球農業科學家所須解決的問題。行政院亦於八十四年頒訂「加強生物技術產業推動方案」，積極推動關鍵性之生物技術，擬發展台灣成為亞太地區生物技術產業之研發、製造與營運中心。

生物技術在農業上之應用範圍很廣，可概分為組織培養及分子生物二個領域。組織培養可應用於 (1) 利用生長點或莖頂培養去除病毒生產健康種苗； (2) 利用無菌苗或懸浮細胞培養進行種原保存及引種； (3) 利用試管授精及胚胎培養技術可將野生種之優良特性轉移至栽培品種； (4) 花葯培養生產單倍體，可加速品種純化、縮短育種時程； (5) 組織培養技術可生產具研究與商業價值之突變體； (6) 原生質體或細胞融合可生產種間雜種或創造新種； (7) 胚狀細胞可用以生

產人工種子或進行基因轉殖。分子生物技術之應用包含 (1) 建立基因圖譜並進行基因分離；(2) 創造新品種或新性狀，如新花色及具抗病、蟲特性之品種等；(3) 調節基因表現促進作物生長或延遲老化；(4) 生產作為生物農藥或肥料之生物製劑；(5) 植物病原菌之偵測與診斷；(6) 利用轉殖植物生產高附加價值之疫苗或重要代謝產物；(7) 利用分子生物技術進行種源鑑定及品種專利保護。生物技術之應用範圍廣泛、潛力無限，必須積極開發研究，方能面臨未來農業之衝擊。

政府為積極發展生物技術，增進國家競爭優勢，依據國家跨世紀發展策略，將生物技術等相關重點計畫，提升為國家型科技計畫，以有效提升研發成果。中央研究院成立「生物技術推動委員會」，負責規劃農業生物技術研發計畫。目前國家型農業生物技術整體計畫規劃主題為花卉種苗、生物農藥、水產養殖、動物疫苗、保鮮技術、環境保護及中藥與藥用植物等七大項。國內進行農業生物技術研究主要有中央研究院，各大專院校及省屬之農業試驗所、林業試驗所等機構。目前較有成果之領域有各種重要中藥作物及花卉作物之組織培養大量繁殖及健康種苗之生產；紅豆杉細胞懸浮培養系統已可工業量產紅豆杉醇；植物病毒鞘蛋白基因選殖及抗病毒之轉基因木瓜與蘭花之育成；生產 BT 內毒素之基因可作為生物農藥，轉殖植株具有抗蟲性；甘薯胰蛋白抑制因子可提供抗蟲基因來源或生產生物農藥；轉移反義之乙烯合成酵素基因可延緩花卉老化或瓜果成熟； SOD 基因可生產抗紫外線之化妝品；花色基因之選殖可提供新花色之來源；抗菌基因或菌種品系可供育成抗病品種或生產微生物製劑；部分特殊微生物製成之微生物肥料可提高作物生長與生產，部分研究成果將於短期內具有商業價值。

生物技術屬長期性、技術密集、高投資與高風險之產業，政府之

政策必須堅定明確，須有相關政策、法令與之配合，更須獎勵民間投資。國內生物技術研究起步較歐美晚，基礎研究不足，如何有效運用有限資源，為生物技術能否成功發展之關鍵。生物技術之研究發展策略必須注重下列諸項：研究目標必須明確，具有重點；專業人才之延攬須具彈性，唯才是用；建立研究團隊，進行功能整合；技術交流，成果共享；產、官、學、研充分合作，將研究、發展與生產納為一體，方能使生物技術在產業紮根，綻放花朵，收穫成果。

本文之目的除說明生物技術在農業上之應用及其潛力外，將建議國內應發展之農業生物技術重點項目，更希望政府能儘速研擬相關政策予以支持，使生物技術能於本土紮根，並落實至產業。

生物技術在農業上之應用

生物技術在農業上之應用範圍很廣，可概分為組織培養及分子生物等二個技術領域。組織培養技術之應用涵蓋 (1) 利用生長點或莖頂培養去除病毒生產健康種苗； (2) 利用無菌苗或懸浮細胞培養進行種源保存及引種； (3) 利用生物反應器及細胞懸浮培養生產植物重要代謝產物； (4) 利用試管授精及胚培養技術將野生種之優良特性轉移至栽培品種； (5) 花葯培養生產單倍體，可加速品種純化、縮短育種時程； (6) 利用組織培養技術生產具研究與商業價值之突變體； (7) 原生質體或細胞融合可生產種間雜種或創造新種； (8) 胚狀細胞可用以生產人工種子或進行基因轉殖。

分子生物技術之應用包含 (1) 建立作物基因圖譜並進行基因分離； (2) 創造新品種或新性狀，如新花色及具抗病、蟲特性之品種等； (3) 調節基因表現促進作物生長、生產或延遲老化； (4) 生產作為生物農藥或肥料之生物製劑； (5) 植物病原菌之偵測與診斷； (6) 利用

基因轉移技術生產高附加價值之疫苗或重要代謝產物等特殊生物技術產品；(7) 利用分子生物技術之 DNA 指紋分析，進行種源鑑定及品種專利保護。

生物技術之研究現況

行政院農業委員會農業試驗所目前進行之生物技術研究項目如下：

1. 重要藥用植物之組織培養（金線連、柴胡、當歸等數十種）。
2. 利用懸浮細胞生產二次代謝產物（柴胡皂甘、紅豆杉醇等）之研究。
3. 利用誘變技術生產重要花卉（小天堂鳥、蔓綠絨、夏堇、美女櫻等）品種。
4. 作物基因轉移系統之建立（水稻、夜來香、蝴蝶蘭、彩色海芋）。
5. 核酸快速萃取法與品種鑑定技術之研發。
6. 水稻抗褐飛蝨分子標誌之篩選及抗蟲性之分子選種。
7. 色素基因選殖及利用生物技術創造新花色之研究。
8. 水稻食味品質之分子育種研究。
9. 玉米食味品質之分子育種研究。
10. 青花菜花藥培養及耐熱品系篩選之研究。
11. 利用高溫逆境及化學誘變劑處理培育耐高溫之園藝作物。
12. 甜瓜鞘蛋白基因轉殖及其優良親本品種之建立。
13. 苦瓜乙烯合成酵素基因 ACC synthase cDNA 之選殖。
14. 蕪菁嵌紋病毒鞘蛋白轉基因芥菜之構築。
15. 甜瓜基因圖譜建立及重要園藝性狀基因之標定。
16. 蕪菁嵌紋病毒鞘蛋白基因之比較。

17. 木黴菌量產及不同劑型製作之研究。
18. 利用微生物製劑防治金線連莖腐病。
19. 鐮胞菌核酸特異分子標誌之選殖與應用。
20. 病毒病害生物技術檢測試劑之開發與應用。
21. 抗病毒轉基因植物之防治與對環境影響之評估。
22. 應用分子生物技術於病毒抗血清製備之研究。
23. 本土性球根花卉原原種種苗去病毒技術之研究。
24. 應用核酸探針偵測本省田間發生之瓜類病毒種類。
25. 種蒜繁殖及病毒檢查技術之開發與利用。
26. 抗 ZYMV 與 PRSV-W 轉基因甜瓜與西瓜之育成。
27. 昆蟲誘劑之開發與商品化。
28. 果農藥殘毒快速檢驗技術 (RBPR) 及試劑之商品化。
29. 果實蠅嗅覺化學引誘劑之開發與利用研究。
30. 以人工飼料膠囊化技術大量飼育天敵之研究。
31. 生物肥料製劑（菌根菌、溶磷菌、固氮菌）之開發研究。
32. 作物種原品種鑑定方法之研究--番椒種原之鑑定。
33. 無性繁殖種原之組織培養保存研究。
34. 應用生物技術進行花卉種原保存-百合及蘭花種原保存。
35. 甘藷不同部位組織分化能力之研究。
36. 無病毒文心蘭組織培養之研究。

行政院農業委員會農業試驗所 生物技術相關試驗成果

農藝系生物技術研究

- 利用組織培養技術現已能成功培育金線連及柴胡等數十種重要中藥植物。
- 利用懸浮細胞培養已成功生產二次代謝產物，如柴胡皂甘、紅豆杉醇等。
- 目前正積極利用誘變技術生產小天堂鳥、蔓綠絨、夏堇及美女櫻等重花卉品種。
- 基因轉移計畫將著重水稻及花卉作物之基因轉移。
- 發展核酸快速萃取法，配合自行研發之核酸萃取機，可迅速進行核酸萃取，供轉基因植株檢定、品種鑑定及作物育種之大量後裔檢定等試驗。
- 篩選獲得與水稻抗褐飛蝨相關之分子標誌，可直接進行以分子標誌輔助育種選拔 (marker-assisted selection) ，提高育種效率。
- 選殖色素生合成基因 (DFR 等) 供基因轉殖，創造具有新花色之花卉品種。

園藝系生物技術研究

- 抗胡瓜嵌紋病毒 (CMV) 之轉基因甜瓜之培育：以 *Agrobacterium* 為媒介將 CMV 鞘蛋白基因(中興大學植病系提供)轉入甜瓜，並選出四個具有優良園藝性狀，且抗 CMV 株系，現已進行至 T2 世代，俟選出理想之同質的轉殖株系，將進行田間觀察試驗。
- 瓜類 PRSV-W (papaya ring spot virus, watermelon type) 和

ZYMV (zucchini yellow mosaic virus) 之鞘蛋白基因轉殖（與中興大學植病系合作）之西瓜與甜瓜，業已獲得再生植株，正待檢測。

- 甜瓜基因圖之建立與有用基因之標定：在農委會補助下，本所利用 RAPD 標誌已建立一幅含 125 個 RAPD loci 之甜瓜連鎖圖，涵蓋 1348 cM ，約佔甜瓜基因組的 60 % 左右。今後除繼續飽和連鎖圖外，將進行抗白粉病和露菌病等基因之標定，供育種選拔和基因選殖之參考。
- 蕪菁嵌紋病毒鞘蛋白基因之選殖及其轉基因芥菜之構築：目前已自芥菜及蘿蔔收集二百多個蕪菁嵌紋病毒分離株，並已選殖最常見二分離株之鞘蛋白基因，經解序、修飾後即可進行基因轉殖。
- 耐熱青花菜之誘變育種：應用組織培養與化學誘變 (5-azacytidine) 方法選拔可耐高溫之青花菜突變株，並檢測其突變性狀之遺傳穩定性，期能獲得優良的耐熱品系。

植物保護生物技術研究

真菌研究室

- 木黴菌量產及不同劑型製作之研究：利用木黴菌之生物製劑可防治主要土壤傳播性病原菌及空氣傳播之病原菌，如灰黴菌炭疽病及白粉病等，此外更可進而促進植物生長。
- 利用微生物製劑進行病害防治：以微生物 *Bacillus* 及 *Streptomyce* 製劑防治金線連莖腐病，可達到 90 % 以上之防治效果，值得予以推廣。

病毒研究

- 病毒病害生物技術檢測試劑之開發與應用，已成功開發應用 RT-PCR 快速偵測二種重要蘭花病毒之技術，可應用於蝴蝶蘭、嘉德利亞蘭、報歲蘭、文心蘭及素心蘭等蘭花之病毒檢定。

微生物肥料製劑

- 農用微生物肥料製劑之開發研究：菌根菌生物肥料可促進作物（文旦、百合、蕃茄、百日草等）生長，增強對逆境（乾旱及浸水）抵抗力；溶磷菌生物肥料可提高作物磷肥吸收效率節省肥料施用；固氮菌生物肥料可固氮並協助作物生長。

應用動物系害蟲防治研究

- 果實蠅嗅覺化學引誘劑之開發與利用研究：以化學引誘劑配合誘殺器，可顯著提高果實蠅誘殺效果，減少農藥施用及果實套袋之成本。
- 昆蟲誘劑之開發與商品化：已開發完成瓜實蠅、果實蠅、甜菜葉蛾、斜紋夜蛾、玉米穗蟲、小菜蛾、及茶姬捲夜蛾等七種昆蟲之誘殺劑，可立即進行技術轉移。
- 果農藥殘毒快速檢驗技術 (RBPR) 及試劑：已完成乙醯膽鹼酯脢及蘇力菌檢驗試劑之商品化，可立即進行技術轉移。
- 以人工飼料膠囊化技術大量飼育天敵之研究：利用膠囊化人工飼料飼養天敵，能克服活餌飼養之不便，更可大量廉價繁殖天敵。目前草蛉之飼養業已突破，可以取代農藥之使用，並有效控制害蟲棲息密度，值得予以推廣。

針對國內生物技術未來發展重點之建議

為因應生物技術之蓬勃發展，今後生物技術之研究，必須針對國內有限之人力與資源，做最有效率之功能劃分並予整合，使現有資源發揮最大效果。建議中央研究院或各大專院校扮演上、中游角色，進行重要基因選殖及基因轉殖等基礎研究工作。農業試驗所及各地區農業改良場需予以整合，以配合進行中、下游相關研究工作以竟全功。其中農業試驗所可扮演中、下游工作，而各地區農業改良場則扮演下游角色。農林廳已成立農業科技研究群，可以群體合作方式，配合中央研究院與大學研發之上、中游成果，推動至中、下游。上游角色將以進行重要基因選殖及基因轉殖等基礎研究工作為主；農業試驗所將配合上游研究成果，經由技術轉移或技術輔導，自上游取得技術與初步研究成果或半成品，繼續進行經常性及應用性之中、下游試驗研究工作，將上游研究成果發展為半成品或成品；各地區農業改良場則負責進行成品之生產與推廣，將研究成果或技術，以直接或間接方式，轉移至產業界或農民。

生物技術研究需要中、長期投資，故研究目標之選擇應慎重考慮：針對目前已有產業之作物或具有產業價值者為目標，作物之選擇則考慮具本土性或國內具有發展優勢之作物，此外應以國內現有育種計畫進行者，為優先考慮對象。

茲依據產業需求殷切程度、重要性及發展潛力，將值得進行生物技術研究之重要方向與課題，及目前正從事各相關研究工作之學者專家做成以下建議：

一、 花卉產業之生物技術

花卉產業首重生產健康種苗以提供生產者，及育成自有品種。其發展重點建議如下： (1) 建立健康種苗之生產體系－目前以蘭花（蝴蝶蘭、文心蘭、石斛蘭、拖鞋蘭）、百合、海芋等球根花卉及火鶴花等熱帶花卉作物之健康種苗需求最為急迫。 (2) 利用誘變技術生產花卉或觀葉植物新品種－利用組織培養技術大量繁殖可再生之胚狀細胞，供誘變處理，經再生後篩選具商業價值之突變品系，經品種登錄後，交由下游業者進行大量繁殖。 (3) 利用基因轉移技術育成抗病（軟腐病、莖腐病）（病原菌為真菌與細菌）品種－首先應選殖可分解細胞壁之 chitinase 及 glucanase 基因供進行基因轉移利用，建議之作物種類，如彩色海芋等重要球根花卉。

二、 植物保鮮之生物技術

植物保鮮或延緩老化技術可減少損失及運輸成本，提高農作物之商品價值。主要須針對易受乙烯影響而提早成熟或老化之花卉或蔬果為目標，轉移 ACC synthase 或 ACC oxidase 之反義 (antisense) 基因或改造乙烯受體 (ethylene receptor) 基因，抑制乙烯合成、延緩老化，而達到保鮮之目的。此類計畫必須先瞭解目標作物之老化與乙烯生成之關係。建議作物為苦瓜、香蕉，花卉作物如蝴蝶蘭、康乃馨等。

三、藥用植物之生物技術

藥用植物為今後醫藥界之重要醫藥成分主要來源，進行藥用植物之生物技術研究須先瞭解各項中藥作物之主要藥效成分 (active ingredient) ，方能針對目標產物進行品種改良，進行基因選殖或利用細胞懸浮培養以生物反應器進行大量生產。研究重點

如下： (1) 儘速發展藥用植物正品鑑定方法，及利用組織培養技術大量繁殖瀕臨絕種之重要中藥植物。 (2) 針對重要中藥作物進行主效成分分析與鑑定，須請醫藥界學者配合參與研究。 (3) 選育抗病品種，如抗真菌病害 (*Fusarium* wilt) 之金線連品系之育成或病害控制。 (4) 利用生物反應器 (bioreactor) 生產重要藥用植物之主要藥效成分—如懸浮細胞培養以生產紅豆杉醇 (taxol) ，及柴胡之皂甘等。

四、 植物保護生物技術

植物檢疫制度之建立與嚴格執行，為加入世界貿易組織後對國內農產品保護之最佳手段。如何獲得大宗進口花卉或農產品產地之主要病原微生物種類及相關資訊，為此一植物檢疫制度成功與否之重要關鍵。相關研究著重： (1) 植物病原菌之快速檢定及鑑定技術之建立—利用分子生物技術，獲得大宗進口花卉或農產品產地主要病原微生物之特異核酸探針，或重要病毒之單元抗體以作為檢疫之依據。 (2) 病原菌快速偵測法—病原檢定技術必須配合快速檢定或偵測試劑組方能達成。 (3) 建立重要花卉作物之病原菌檢定及去病原菌之系統—無病原感染之種苗為繁殖與生產健康種苗之依據須儘速建立。

五、 生物製劑

利用種類繁多及具有不同特殊性狀之微生物，生產具有殺菌或殺蟲效果之生物農藥，如利用可生產 BT toxin 及 TI (trypsin inhibitor) 之菌種製成穩定之生物農藥可取代化學農藥。利用菌根

菌、溶磷菌及固氮菌製成生物性肥料，具有提高作物磷肥吸收效率、固定空氣中之氮素功能，可節省肥料施用並協助作物生長。拮抗微生物之利用可抑制病原菌之發病及促進植物之生長。

六、 環保生物技術

環境保護為二十一世紀最受重視問題之一，任何提高環境品質及減少環境污染之努力均必須戮力進行以維持地球之永續。進行高效率垃圾分解微生物之篩選，即有機廢棄物分解微生物之篩選。

七、 其他值得利用生物技術協助進行研究之課題：

農業試驗所具有優良之瓜類、蔬菜及水稻等育種研究基礎，可充分參與、配合或支援相關研究計畫之進行。

1. 進行水稻及重要園藝作物育種及基因轉移，以獲得具有特殊性狀（抗病、抗蟲及耐逆境等）之品種，或做為生物工廠以生產特殊產物（如各種疫苗、SOD、生長荷爾蒙等），提高作物之附加價值，均為研究重點。
2. 瓜類（甜瓜、西瓜及洋香瓜）為本省重要蔬果，而白粉病、露菌病及病毒病等病害嚴重，值得進行研究。
3. 高品質之耐熱性蔬菜（如甘藍、白菜）品種之選育。
4. 水稻之生物技術研究：水稻為我國主要糧食作物，相關研究須持續進行，各種抗病、抗蟲基因之篩選，或利用基因轉殖技術，以水稻生產具有重要附加價值之生物技術產品，為重點研究課題。

5.果樹類：木瓜抗輪點病毒（轉基因植株已由中興大學植病系葉錫東教授發展成功），鳳梨新品種之育成，其他果樹之產期調節、縮短幼年期為研究重點。

6.利用生物技術改良重要病害之抗性，如香蕉黃葉病之抗性，柑橘黃龍病等。

八、重要基因之選殖與分子標誌之研發

如何獲得重要基因並取得專利權，為今後生物技術發展之最重要一環。代表品種特異性及與重要性狀連鎖之分子標誌，為品種與基因專利使用之依據，必須予以重視優先發展。

1. 重要基因之選殖一抗病原菌 virus，真菌、細菌等之基因（可選殖如 coat protein, chitinase，glucanase 等基因）；抗蟲基因（可選殖如 trypsin inhibitor 及 BT 基因）；花色素基因（可選殖花青素合成基因）創造新花色；高效率啟動子 (promoter)，或具組織特異性 (tissue specific) 啟動子之選殖，可達到控制基因表現之目的。希望中研院及大專院校，能將本土所需之基因優先選殖以符合經濟效益。

2.利用分子生物技術建立品種特異 (variety specific) 或特殊性狀之相關分子標誌，做為重要性狀之早期篩選、種原鑑定、種苗保護或基因專利之依據，保護我們自己所生產之品種、基因及其他生物技術產品。

我國農業生物技術之政策與主管單位

生物技術之上游基礎研究主要由國科會負責推動，執行單位包括中研院、各大專院校等相關科系與研究所。著重遺傳工程、轉殖植物酵素與蛋白工程及中藥等重點之基礎研究。生物技術中下游之應用性

研究則由農委會、衛生署、經濟部等單位負責推動。執行單位有公立研究機構及財團法人研究機構，如農試所、生物技術開發中心及工研院、食品工業發展中心等，負責從事產品、產程與技術之開發，並將研究成果轉移給業界。

國內生物技術產業在政府策略性的獎勵推動下，也逐漸加強研發投資，許多民間企業投資於生物技術之開發計畫也陸續進行，其投資研發項目、包括畜用疫苗、花卉、種苗、生物農藥、檢驗試劑、保健飲料等，部分業界已進入生產階段。公營企業如台灣肥料公司、台糖公司、中國石油公司等，亦積極規劃投資生物技術產業。行政院於 85 年通過 「加強生物技術產業推動方案」 ，設置跨部會之生物技術產業指導小組，積極鼓勵此一產、官、學、研結合之模式，共同推動生物技術產業之發展。目前農業生物技術方面，政府選定「花卉產業」、「生物農藥產業」 、 「種苗產業」 、 「基因工程」 、 「保鮮技術」 、 及 「環保生物技術」 等為發展重點，並成立 「國家型科技計畫」 與之配合，積極開發生物技術產業。與生物技術發展相關之法令規範與獎勵投資制度及相關產品之智慧財產權等亦在擬定中。希望藉由各種有利規劃，促使生物技術迅速發展，在本土生根，並具國際競爭力，使農業產業儘速升級。

農委會

作物基因轉殖技術之開發應用，生物性農藥及肥料之生物技術應用，生物技術應用於種苗繁殖技術研究及品種改良，生物技術在植物病蟲害診斷與防治上之應用，生物技術在水產養殖之應用研究，生物技術在食品上之應用，應用生物技術加強花卉產業之發展。

國科會

植物抗病蟲害基因之研究，溫度逆境下植物基因產物蛋白質的生理功能，老化調控與收穫後生物技術研究等與農業直接相關之生物技術研究群體計畫。

國內農業生物技術之相關研究機構

中央研究院分生所、生科所、植物所等，台灣大學清華大學中興大學東華大學等大專院校，生物技術開發中心，台灣糖業研究所，行政院農業委員會農藥試驗所，行政院農業委員會林業試驗所，及行政院農業委員會農業試驗所等研究機構。

農業生物技術之未來發展策略

生物技術屬長期投資、技術密集與高投資、高風險之產業，政府之政策必須堅定明確，須訂定相關政策、法令與之配合，更須獎勵民間投資。國內生物技術研究起步較歐美晚，基礎研究不足，如何有效運用有限資源，為生物技術能否成功發展之關鍵。生物技術之研究發展策略必須注重下列諸項：

一、研究目標之訂定必須明確，具有重點；研究目標必須具本土發展特性，並須有相關育種計畫及產業研發之配合方可進行，否則研究成果如僅止於試驗階段，無法落實至產業，殊為可惜。

二、考量基因與技術之專利權，建議考慮自國外以購買國內使用權之方式，取得重要基因及即技術之專利使用權，進行基因轉移，育

成新品種。洽商基因與技術來源，可以成立小組進行之，並須聘請具有生物技術專業之專利律師參與討論，以避免日後產生專利權訴訟問題，徒勞無功。

三、生物技術研究專業人才之延攬須具彈性，唯才是用；國內外培養之生物技術人才頗多，然而絕大多數並未具有公務人員任用資格而無法晉用。目前政府的高考制度，幾乎無法延攬具有生物技術之高級科技人才，如果用人制度無法迅速予以彈性化，將是政府發展生物技術最大之阻礙。

四、生物技術研究必須建立團隊，進行功能整合；生物技術涵蓋範圍頗廣，相關研究均須以團隊、分工方式進行以爭取時效，方能於短時間獲得成果，並具競爭力。

五、技術交流，成果共享；生物技術須將研究、發展與生產納為一體，即產、官、學、研必須充分合作，方能使生物技術在產業紮根，綻放花朵，收穫成果。

六、為使生物技術能迅速發展，政府須政策支持、法令配合、經費寬列、獎勵投資、支持產業。

第二章　有機肥料推廣現況及品質管理

李育義

行政院農業委員會農產科技正

一、前言

近年來世界各國，尤其是農業先進國家，均積極在推動永續農業、有機農業等，此等農業制度，最重要之措施為設法多施用有機質肥料，藉以培育土壤的生產力，並達成落葉歸根，返樸歸真之農業。台灣地區農地有限，又受地理因素高溫多濕及集約耕作等影響，地力的消耗較快，更有必要妥善培育土壤生產力。為了提高農地生產力及永續使用農地，一般而言，以合理化施肥及多施用有機質肥料最為重要。

利用農牧廢棄物堆肥化生產有機質肥料，能夠充分供應培育地力所需要之腐植質外，對於農作養分磷、鉀等之循環利用更有重要的意義，農牧廢棄物之資源化不但可以改善農業環境，農牧產業也因而可獲得繼續發展。

二、有機質肥料之種類與性質

有機肥料，可分為動物性有機質肥料，如魚渣肥料、肉渣肥料、骨粉肥料、皮革粉肥料、羽毛粉肥料、鳥糞肥料等。植物性有機質肥料，如各種油粕肥料、乾燥菌體肥料、副產植物肥料等，此類肥料不需要經過醱酵腐熟，主要功用為供應農作物生長所需要的緩（長）效性養分，對於農作物品質的提升

亦有相當的助益。

堆肥有機質肥料，係利用禽畜糞、養菇後廢料、稻殼、樹皮、蔗渣、食品廠廢料等農牧廢棄物，經過醱酵腐熟而成，有機質含量較多，所含各種微量要素養分也很豐富，此類肥料所含之腐植質，根據試驗研究指出，具有改善土壤團粒構造，促進土壤鬆軟，通氣、排水、保水、保肥、調整酸鹼度、養分有效化及分解有毒物等功用，因此施用多量腐熟的堆肥，對於提高農作物品質及產量，均有顯著的效果。

綠肥亦屬有機質肥料之範圍，利用休耕期栽培各種綠肥作物，於木質化前翻入土壤內，可供應很多有機質，同時可提供氮素等養分，目前推動合理化施肥計畫內，免費提供田菁、油菜、埃及三葉草、苕子等各種綠肥種子，頗受農家歡迎，二年來推廣面積達 27 萬多公頃，對於地力之提高及節省化學肥料使用量均有相當的效果。

三、輔導農家自產自給有機質肥料

利用農家及農牧之有機廢棄物，資源化堆製有機質肥料，源源可供應堆肥外，農家環境衛生及農牧廢棄物之處理均可獲得改善。本項工作除提供堆肥製造和使用技術外，另補助設置農家簡易堆肥舍，每處堆肥舍面積 50 坪以上補助金額 25 萬元，本項補助以地區性產銷班共同製造堆肥之農戶優先列入補助，大量生產堆肥之農戶另予補助堆肥翻堆機，以減少勞力之負擔。近二年來補助設置堆肥舍計 65 處，據實地查訪結果堆肥舍的使用率很高，所生產之堆肥品質，經過轄區改良場試驗均獲得很高的品價。

輔導農家自產自給堆肥，除補助設置簡易堆肥舍外，另遴選有意願生產堆肥之農家，予補助設置組合式不銹鋼堆肥箱，堆肥箱為圓型，半徑及高度各 1 公尺，容量約為 3.1 立方公尺，每一堆肥箱補助款為一萬二千元，堆肥箱之周邊設備費用，均由受補助農家自行負擔。利用該堆肥箱大量生產堆肥時，每週拆開堆肥箱翻堆一次並調整水分，約經過二個月可生產 5 公噸之中熟堆肥。近二年來所補助的堆肥箱計 315 個，由於堆肥箱的材質為不銹鋼，故可永續使用。

四、補助農家使用商品化堆肥

補助對象為一般農戶，為達到普遍施用有機肥料之目標，先由政府編列經費補助農民施用。有機質肥料種類農牧廢棄物經過醱酵腐熟之堆肥，該堆肥品質須符合公訂"一般堆肥"之肥料規格，且以國內製造領有"一般堆肥"之肥料登記證者為限，目前已領有該項肥料登記證業者，包括製造有機質肥料工廠及畜牧業附設之堆肥場計 64 家。補助使用堆肥之廠牌悉由受補助農戶自由選擇。

補助標準分為小面積之示範及大面積推廣二部份，小面積示範區面積為 0.35 公頃，其中 0.05 公頃為對照區，每處示範區施用堆肥 3.6 公噸，補助款六千元，如由堆肥業者自行選定示範地點，所需堆肥由堆肥業者免費提供。利用不同土壤、不同農作物及不同廠牌之堆肥，以觀察實際施肥效果，對於有機質肥料之推廣甚有幫助。

大面積推廣部份，又分為長期作物每公頃施用堆肥 8 公噸以上補助八千元，及短期作物每公頃施用堆肥 4 公噸以上補助

四千元。透過農林廳農產科推廣部分 87 年及 88 年設置小面積示範區計 47 處，大面積推廣二年來計推廣 3 萬 5 千 184 公頃，歷年來之推廣補助款及面積詳如附表一與附表二。另農地利用規劃計畫所推廣有機質肥料之面積，二年來也達 1 萬 2 千 791 公頃，其他畜牧單位、縣市政府、農會及鄉鎮市農會亦大力編列經費推動本項有機質肥料之使用。

五、推廣施用有機質肥料之配合措施

（一）輔導堆肥製造與施肥技術

有關堆肥製造及施用技術之講習及輔導工作，由農業試驗所及各區農業改良場辦理。農業試驗所及各區農業改良場設置試驗教育用堆肥舍及設備，亦由「推動合理化施肥措施」專案計畫支應經費，二年來設置 10 處堆肥舍，包括設備費計 2,363 萬元。

（二）補助使用有機質肥料產品標示之包裝箱

使用有機質肥料產品之品質已受到消費者肯定，因此在包裝上標示「使用有機肥料產品」，可供消費者能夠買到使用有機質肥料之高品質農產品，箱上均註明生產農戶之姓名與農會名稱以表示負責，近二年來計補助使用該包裝紙箱計 28 多萬個。

（三）舉辦使用有機質肥料成果發表會

農家實際使用有機質肥料之經驗與成果，一年辦理一次發表會，其資料印成專冊供為推廣有機肥料之教材，參加成果發表會成績優良者另予獎勵。

表一、歷年來有機質肥料示範推廣補助款統計表　　農糧處資料

年	政府補助款（千元）合計	政府補助款（千元）農委會	政府補助款（千元）農林廳
75	二、四八〇	二、〇〇〇	四八〇
76	一、〇〇〇	一、〇〇〇	—
77	五、四四八	二、五〇〇	二、九四八
78	五、八八四	二、五〇〇	三、三八四
79	九、七〇七	五、五〇〇	四、二〇七
80	六、〇六九	五、〇六九	一、〇〇〇
81	九、六七三	八、五八〇	一、〇九三
82	二七、三〇〇	二七、三〇〇	—
83	二〇、二五八	一六、〇五〇	四、二〇八
84	一五、九六八	一二、〇七〇	三、八九八
85	二七、三七三	八、五六四	一八、八〇九
86	三九、五五二	八、三一二	三一、二四〇
87	一四九、九五七	一三一、〇六二	一八、八九五
88	一五二、四九〇	一四二、四九〇	一〇、〇〇〇
計	四七三、一五九	三七二、九九七	一〇〇、一六二

備註：
1．小面積示範施肥量：每處0．三公頃，三．六公噸以上。
2．大面積推廣堆肥施肥量：每公頃長期作物八公噸以上，短期作物四公噸以上。
3．八十六至八十八年補助款包括：
（1）增設試驗教育用堆肥舍一0處三、一三一平方公尺。
（2）農家小堆肥舍六十九處三、四五0坪。
（3）農家組合式不銹鋼堆肥箱二九六處。

表二、歷年來有機質肥料示範推廣面積統計表　農糧處資料

年度	小面積示範 處數	小面積示範 面積(公頃)	大面積推廣 處數	大面積推廣 面積(公頃)
75	一五〇	四五・〇	|	|
76	一三〇	三九・〇	|	|
77	五〇	一五・〇	三六	六三五
78	五九	一七・七	五六	六五〇
79	七〇	二一・〇	九〇	九〇〇
80	三〇	九・〇	七六	七六〇
81	四五	一三・五	一一二	一、一二〇
82	六六	一九・八	三二四	三、二四〇
83	四五	一三・五	二四九	二、四九〇
84	二〇	六・〇	一九〇	一、九〇〇
85	|	|	三九〇	三、八八〇
86	四〇	一二・〇	四七五	四、八六二
87	三一	九・三	一、七一八	一七、一八四
88	一六	四・八	一、八〇〇	一八、〇〇〇
計	七五二	二二五・六	五、五一六	五五、六二一

（四）全面宣導有機質肥料之使用

為根本紮根，利用海報、農業刊物及水果月曆等，不定期宣導使用有機質肥料及改良土壤提高農作物品質之優點。

六、有機質肥料之登記、管理

（一）有機質肥料列入肥料登記管理之範圍

為因應有機質肥料大量商品化、品質多元化及限制重金屬等有害成分之需要，自民國 78 年 7 月起將有機質肥料列入肥料登記、發證及查驗品質、包裝標示之管理範圍。本項措施對於保障農民使用商品化有機質肥料之權益，甚有裨益。

（二）增列商品化堆肥之生產管道

製造有機質肥料販賣，原來只以具備工廠登記證之肥料業者為限，農委會為增加堆肥產銷管道，經於 81 年 4 月制訂「禽畜糞堆肥場設置要點」，凡符合該要點所設置之堆肥場，包括農民團體、畜物場及其他公、民營業者等，均可申請「一般堆肥」及「蛋雞糞堆肥」之肥料登記證，以便上市販賣其堆肥。

（三）研訂有機質肥料之規格

「一般堆肥」初步規定有機質（乾基）含量 60 % 以上，全氮 0.6 % 以上，全磷酐 (P_2O_5) 、全氧化鉀 (K_2O) 各 0.3 % 以上，水分 35 % 以下（蔗渣堆肥水分 40 % 以下），銅 0.01 % 以下，鋅 0.08 % 以下。至於腐熟度、有機態氮及其他有害成分等之規格，則尚未訂定。

一般堆肥之水分規定在 35 % 以下，不但可配合機械施肥，對於運搬、施用均甚方便，且不影響環境衛生。本項堆肥之有機質含量較高，而列為推廣使用補助有機質肥料之範圍。

至於「蛋雞糞堆肥」及肥料工廠所製造之「含有機質複合肥料」、「雜項有機質肥料」，因有機質含量低，三要素含量高，故不列入有機質肥料推廣補助之範圍。

（四）規定一般推肥不混入化學肥料

施用堆肥之目的，在於利用堆肥中之多量有機質改良土壤，如三要素含量高，不但有機質含量相對降低，且農作物的生長受到氮素含量高等的限制而無法大量施用堆肥。又堆肥與化學肥料之理化性相差懸殊，利用簡單的設備無法混合均勻，而容易造成農作物生育不均或發生肥害。

有機農業需要使用大量的有機質肥料，但限制不能施用化學肥料，混入化學肥料之堆肥亦不可使用，因此如堆肥混入化學肥料，堆肥之銷路將受到影響，有機農業業者選購堆肥時亦將發生困擾。

（五）加強抽驗堆肥品質

堆肥有機質肥料，受到腐熟度及摻雜之影響，品質穩定性較差，基於保護農民便使用堆肥之權益。有必要加強抽驗其品質。近年來發現部份堆肥業者未重視土壤與農作物之安全，受托處理有害廢棄物，將高含重金屬之有機廢棄物混入農牧廢棄物內製造堆肥出售，後果憂慮，將堆肥

前途蒙上陰影，更有必要加強抽驗取締。

堆肥品質之管理，正在起步階段，目前之品質規格較簡單，亟需農業試驗所、畜牧試驗所及學者、專家，共襄盛舉訂定較周延之堆肥品質規格，以建立有機質肥料之管理規範。

七、結語

台灣地區農地有限，有必要妥善維護並設法防止農地生產力減退。提高農地生產力多施用堆肥等有機質肥料，在實務上被認為可行之方法。近幾年來農家普遍使用富含有機質的堆肥，農地生產力有大幅度的提高，化學肥料之消耗減少，同時消費大眾已體會到水果、蔬菜、花卉之品質有顯著的提升，農家的所得因而增加，消費者也享受到鄉土化農業的成果，由此可證明施用有機質肥料之重要性。

生產堆肥有機質肥料之材料，多來自各種農牧廢棄物，而其中部份禽畜糞所含銅、鋅等有害物，如管制不當，必影響到農地的安全而不能永續使用堆肥，近年來部份堆肥業者更為貪圖眼前利益，受理委託處理工廠污泥等有機廢棄物，混入製造堆肥，後果堪憂值得警惕。

目前堆肥多用於水果等高經濟作物，而一般糧食作物因成本問題，尚無法普遍使用，對於堆肥推廣上之瓶頸一直無法突破；一般而言堆肥售價降低則有助於提高銷售量，如何降低堆肥售價，若由畜牧業者、養菇業者在生產成本上承擔其廢棄物堆肥化費用，則對於農牧廢棄物堆肥化之前途及農地生產力之提升始可樂觀，實有賴於大家凝聚共識支持。

第三章　各種堆肥設備之簡介

謝欽城

國立屏東科技大學農業機械系教授

一、前言

本省由於國民所得提高，國民環境品質的需求提高。又由於 21 世紀之農業型態已由生產型轉變為環境保全型。故對於環境污染形成公害，已得廣大國民的關心重視，依據 1996 年農業年報中農業生產總值，統計資料觀之，農、林、漁、牧各分佔農業生產總值為 41.13 % 、 0.18 % 、 23.15 % 及 35.54 % ，故農業廢棄物對於環境造成極大的衝擊有稻殼及畜牧業廢棄物，若能將稻殼及畜禽業所排之固形物製成堆肥，還原於農地，改善本省農田之地力，是為一項一舉兩得之方式，但為著農業廢棄物製造堆肥時能省力，應利用機械代替人力。本文居於上述之理由，將目前本省所使用堆肥設備做一簡介。

二、農業廢棄物製造堆肥方法

農業廢棄物製造堆肥方法如表一所示

- 醱酵處理施
  - 簡易堆積醱酵設施
    - 堆肥舍
    - 簡易醱酵槽
    - 堆肥盤
    - 箱型醱酵設施(送風不攪拌)
  - 攪拌送風醱酵設施
    - 開放型醱酵槽
      - 單列型
      - 複列型
      - 迴轉型
    - 密閉型酵槽
      - 直型
        - (1) 有時加防材料
        - (2) 有加溫裝置
      - 橫型

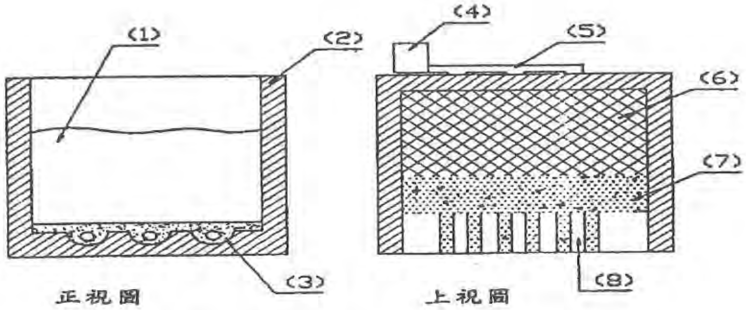
表一、農業廢棄物製造堆肥方法

三、處理設備之簡介：

目前本省已開發且量產的設備，機械與設施於此做一簡介。

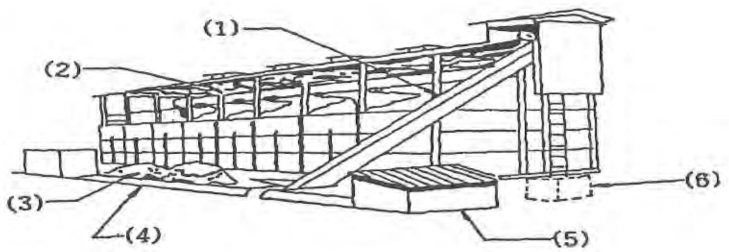
（一）箱型通風式好氣式性醱酵設施

其構造如圖一、圖二所示，其所獲得的結論為處理期間為厭氣處理之 1/2 ~ 1/3 ，又於醱酵鑿槽期間不產生惡臭；並可使種子和病原菌死滅，因期醱酵期間之溫度維持 60 ~ 80 ℃ 之間，同時此種處理設施於醱酵過程中不需攪拌翻堆，在處理過程中及管理上可節省甚多的人力所投入，故此種方法甚適合於中、小型畜禽場使用。



(1) 豬糞　(2) 空心磚牆　(3) 液糞排除溝
(4) 鼓風機　(5) 通風管　(6) 鐵網
(7) 碎石子　(8) 通風管

圖一、箱型通風式好氣性醱酵設備－通風裝置構造圖



(1) 攪拌搬送用螺旋運送機 (2) 進料用帶式運送機 (3) 豬糞 (4) 此溝中設置有運送螺旋一方搬送豬糞另一方搬送木屑等之水份整材 (5) 水份調整材貯藏床 (6) 污水槽

圖二、箱型通風式好氣性醱酵設施

(二)堆積醱酵方式

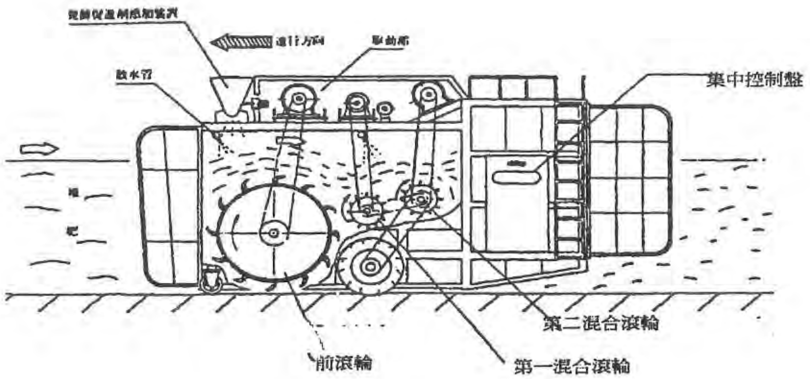
1. 利用鏟裝機翻堆（圖三）

此種方式是適用於野積堆肥翻堆用，其翻堆時開始時約為 2 ～ 3 日一次，而後可將翻堆之間隔時間延長，至堆肥的溫度不產生變化時，可停止翻堆的工作。

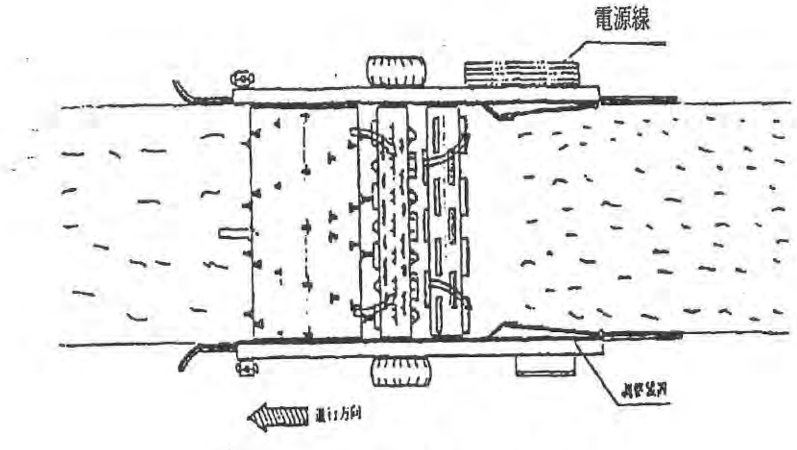
圖三、鏟裝機翻堆之情況

2. 利用堆肥混合機翻堆機

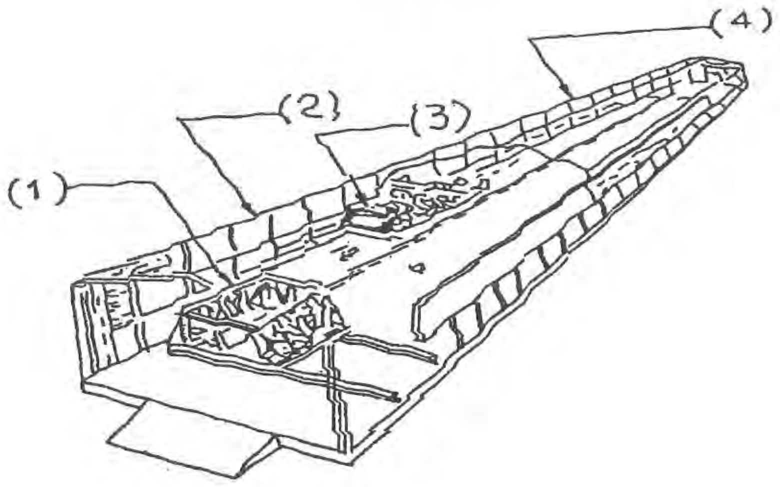
堆肥混合機之構造如圖四、圖五所示，其具有驅動部、行走部及混合翻堆部，可自行前進後退，作用原理是利用前滾輪將列狀堆肥挖鬆並後送，而後送之堆肥再經過第一混合滾輪，第二混合滾輪之細斷與翻堆作用，而將堆肥從前端後送至作方，並使翻堆後之堆肥或列狀的配置，同時於機體上具有灑水管其作用可依據作業需要施行灑水作用。



圖四、混合機之頂視圖



圖五、混合機之斷面圖



(1) 移動台車　　　(2) 輕量H型鋼
(3) 肥攪拌翻堆機　(4) 透明浪板

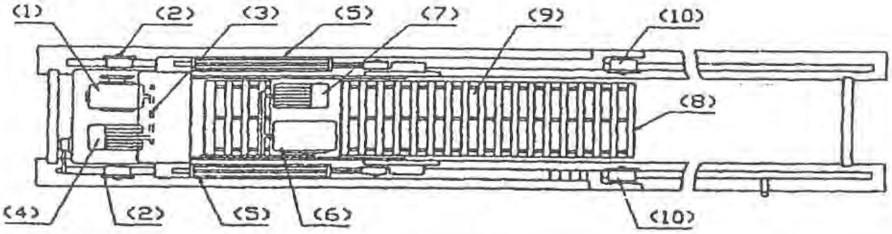
圖六、開放型醱酵槽－壕溝式

(三)開放型醱酵設施－壕溝式

原料要能向後搬動，使進料端能移出空位，以便能達到每日進出料的連續作業。故筆者將此攪拌翻堆機定名為杓子式攪拌翻堆機。攪拌翻堆機前進至進料瑞時，由於行走鋼軌上，設有一阻擋板，當行走台車機架上開關，碰到阻擋板時，立即切斷電流，使行走台車停止前進，並由油壓舉昇裝置，將攪拌翻堆裝置舉昇至水平位置（如圖六所示)，再由於行走台車驅動馬達逆轉，使攪拌翻堆機後退回至出料端而停止，以利次日的攪拌翻堆作業，其停止的方式如同於前進情況，本機已獲得經濟部中央標準局的新型專利，專利號碼為新型第 81687 號。目前並已量產化，量產的規格為攪拌翻堆機的寬度 1.5 m ， 3 m ， 6 m 三種。

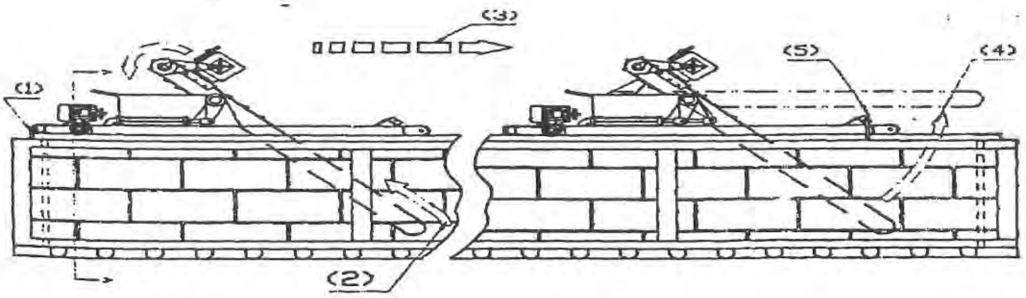
於攪拌翻堆機的設計之主要因子為台車之前進速度與角鐵括

板之緣速度的配合，筆者的設計是將角鐵括板線速度之水平分速度 (Vm Cosθ) 應大於台車的前進速度（如圖七 ~ 圖十所示），如行走台車的前進速度大於 Vm Cosθ 時，將使攪拌翻堆機之阻力過大，而造成翻堆作業困難。



（1） 行走台車之減速器 （2） 行走台車之後行走鋼輪 (3) 傳動鏈條 （4） 行走台車驅動馬達 （5） 油壓舉昇裝置 （6） 攪拌翻堆裝置減速機 （7） 攪拌翻堆裝置驅動馬達 (8) 角鋼刮板 （9） 角板刮板回定鏈條 （10） 行走台車之前行走鋼輪

圖七、攪拌翻堆機之上視圖



右圖：攪拌翻堆於進料端舉昇作業情況

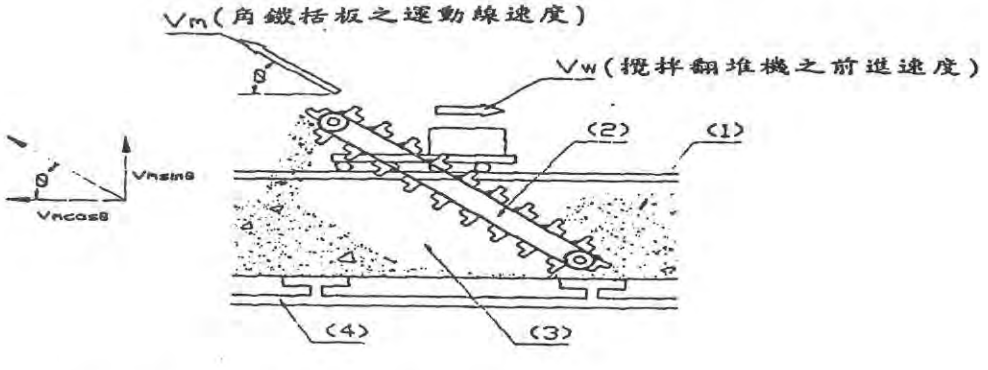
左圖：攪拌翻堆機開始作業情況

(1) 後退阻擋板　　(2) 禽畜糞翻堆時前進方向

(3) 攪拌翻堆機前進方向　　(4) 攪拌翻堆裝置舉昇方向

(5) 前進阻擋板

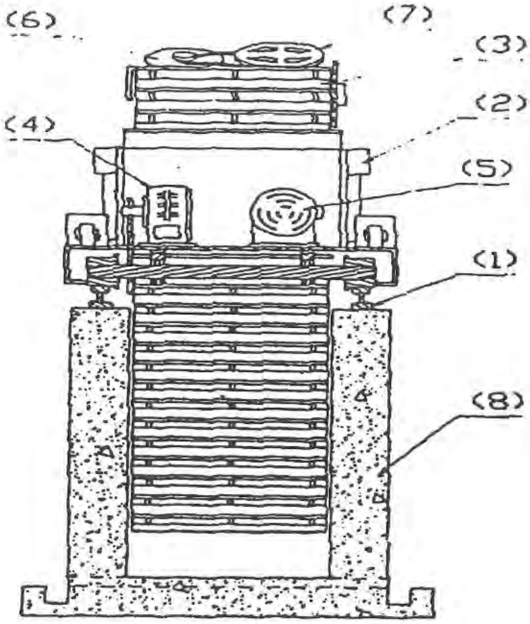
圖八、攪拌翻堆機之側視圖



(1) 糞　　(2) 攪拌翻堆機

(3) 醱酵槽　　(4) 送風裝置

圖九、攪拌翻堆機之行走速度與攪拌速度之關係圖

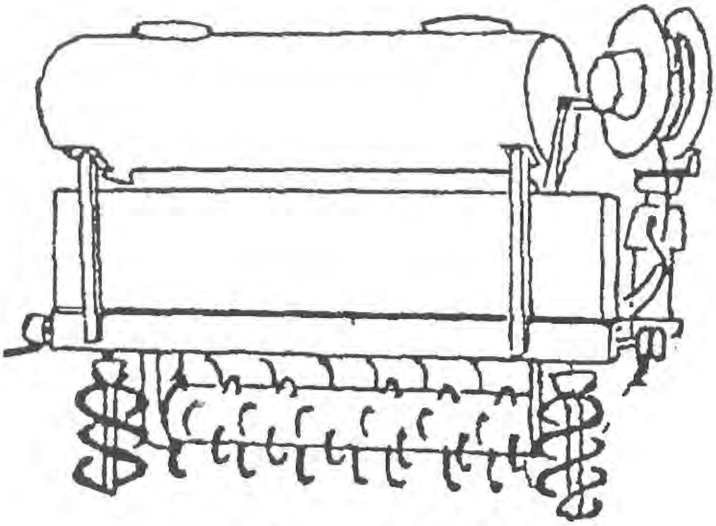


(1) 行走鋼軌　(2) 攪拌翻堆機之機架
(3) 角鐵刮板　(4) 行走台車減速機
(5) 行走台車減速驅動馬達　(6) 攪拌翻堆裝置驅動馬達
(7) 攪拌翻堆裝置減速架　(8) 醱酵槽壁

圖十、攪拌翻堆機及醱酵槽剖面圖

迴轉型攪拌翻堆機

其構造如同杓子式攪拌翻堆機，但兩者最大的不同點，因其迴轉軸上排列有攪拌爪（圖十一），故利用迴轉軸之轉動作，進行攪拌翻堆的效果，此種型式之攪拌翻堆的深度比前者淺且翻堆較不均勻。



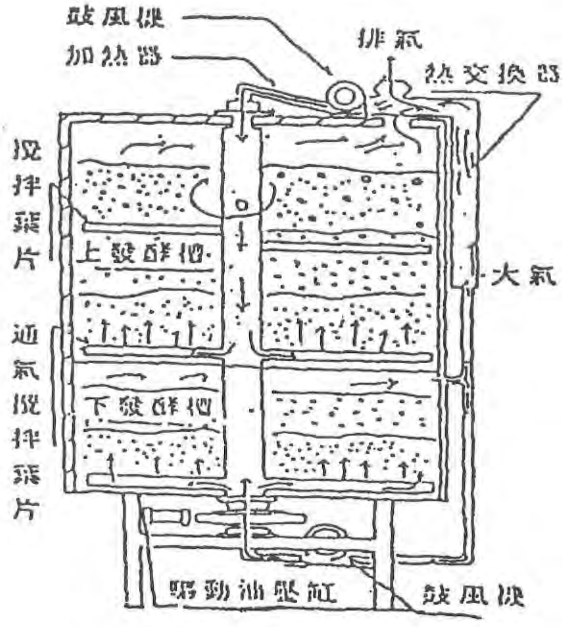
ロータリー式撹拌機(横型)
(両側にスクリュー式撹拌機を取付)

圖十一、迴轉型攪拌翻堆機

(四)密閉型醱酵槽

直立型

其構造如圖十二所示，斷面為圓筒形，又於圓筒的外面被覆一層防熱材，以促進醱酵效果。又其分為上、下兩層兩部分，上層為醱酵槽，下層為乾燥槽，同時其於計上有熱交換器，使新鮮空氣經熱交換器之作用，與排氣產生熱交換以提升新鮮氣進入而醱酵槽之溫度，以促進醱酵之作用，可縮短醱酵時間，以雞糞為例，其醱酵時間為七日，同時其排氣僅有一出口，故於廢氣處理上非常方便。以減少廢氣產生對於環境造成第二次污染。



圖十二、直立型密閉醱酵設施構造示意圖

(五)結論

堆肥設備已本省量產有箱型通風式、杓子式攪拌翻堆、迴轉型攪拌翻椎機及密閉式直立型醱酵槽，這些設備已可供本省農業界之使用，故農業廢棄物堆肥化使用的機械，多年來由於產官學界的努力已有相當豐富成果可提供業界使用。

第四章 利用堆肥法處理農牧廢棄物之優點

王銀波

國立中興大學土壤環境科學系教授

摘要

許多農牧廢棄物處理方式中，利用發酵腐熟過程，堆積製成堆肥是一種很好的處理方法。這種方法不但可以處理農牧廢棄物避免污染環境形成公害，並且能夠利用其所含作物生長所需的必需營養分外，還可利用其所含有機物，改善土壤之物理、化學與生物的性質，提高土壤肥力增加作物生產與改善產品品質。

農牧廢棄物需經堆積腐熟後使用之理由，除了改善粗大有機資材之物理性及減少體積便於運輸外，並可改善含氮過少有機物所引起氮素飢餓現象，多量有機物分解時，微生物與生物利用氧氣引起氧氣不足之還原作用，尤其水田時更為嚴重，由於氧氣不足之嫌氣性分解作用產生了不完全氧化之物質，對生長的作物具有毒害或抑制作用；同樣的有機質，在缺氧狀態下產生甲烷較完全氧化所產的二氧化碳引起地球溫暖化之效果大。經堆積之廢棄物，可把附在其上的雜草種子與病菌害蟲殺死。由上述各點可了解，農牧廢棄物經堆積腐熟所產生的物理、化學與生物性質的變化，可減少其原有之缺點而增加其優點。

一、本省農牧廢棄物

本省畜牧廢棄物產量以乳牛、肉牛、豬、蛋雞、肉雞、羊等計算，年排泄物總量為 14,265,453 公噸 （台灣省政府農林廳 1997） 。主要農產廢棄物稻殼、甘蔗渣與太空包三種重量合計就達 2,009,950 公噸。兩種廢棄物 （畜牧廢棄物與農產廢棄物） 加起來就達每年 16,275,403 公噸，詳如表一及表二，這些廢棄物若不加以處理，不但破壞農村的優美環境，並且污染水源，成為農村之公害。

表一、台灣禽畜糞年產量 （農林廳， 1997）

Live stock	Head	Excretion Day	Excretion Year	Excretion Total
		kg/head	ton/head	ton/year
Dairy	125,471	30	10.9	1,367,634
Cattle	38,529	15	5.5	211,910
Pig	10,698,316	1.9	0.7	7,488,821
Layer	31,463,000	0.14	0.051	1,604,613
Broiler	74,065,000	0.13	0.047	3,481,055
Sheep	309,501	1.0	0.36	111,420
Total				14,265,453

表二、本省主農產廢棄物年生成量及利用 （林與簡， 1995）

Varity	Produced Quantity	Used for Composting	Used for fuel	Untouched Quantity
Rice hull	370,700	31,490	Scarcely	339,210
Processed sugarcane residue	1,520,000	Scarcely	1,220,000	300,000
Wasted mushroom sawdust	119,250	25,786	Scarcely	93,464
Total	2,009,950	57,276	1,220,000	732,674

隨著農業的發展，為了生產所投入的能量越多，雖然收獲量亦增加，但其增加量無法像投入那麼多。美國玉米生產投入能量為 2,423,960 Kcal/ha ， Er 值則減為 2.16 （農學會， 1981） ，單位能量投入能夠得到的收獲能量減少了。更讓我們警覺的是三十年生產玉米能量投入增加了 3.6 倍，收獲能量僅增 2.5 倍。又依據王西華與鐘月容之分析投入台灣水稻生產的能量， 1976 年以來肥料增加了 70.6 % 的投入能量，這些肥料所需能量可用農畜廢棄物之菜桿與家畜糞尿等代替 （王銀波， 1981） ，因農畜廢棄物含有不少肥料成份。

二、農畜廢棄物的處理方式與製造堆肥使用之好處

農畜廢棄物隨農村環境的不同而有不同的處理方式。一般而言，有下列六種：

1. 直接堆棄於窪地、路旁或排放至河流、小溪。
2. 焚燒掉或當燃料使用（如蔗渣、稻草）。
3. 直接施用於土壤，如稻草、玉米桿等掩埋於土壤中。
4. 當做飼料，如餵牛、羊等。
5. 當工業原料如稻草、蔗渣製成紙漿。
6. 製成堆肥或當栽培介質使用。

這些方法中，若考慮作物生長之影響，環境與衛生的安全，農畜產廢棄物中之病菌害蟲對作物與人畜之感染等問題，則農畜產廢棄物的處理方式，以製成堆肥或當栽培介質使用，較合乎衛生安全，資源再利用、環境保護及經濟效益。但僅有 10.7 % 禽畜糞用來製造堆肥而主要農產廢棄物亦只有 2.9 % 用於製造堆肥，頗為可惜（林財旺與簡宣裕， 1995）。農畜廢棄物製造成堆肥使用的好處（或說效果）如下（吉田， 1941； Arnold ， 1982）：

1. 避免污染環境形成公害。
2. 有機物改善土壤理化生物性質，提高肥力。
3. 利用廢棄物內所含作物生長的必需營養份。
4. 利用緩放性肥料，一年內提供 1/3 之氮素成分，其餘成為腐植質氮素，緩慢供應（地方氮素）。
5.含有生育促進物質，成為腐植質之有機物，其有稱為植物賀爾蒙物質，促進根之產生與伸展。
6.增加微小生物，減少病蟲害之發生。
7.保持養分、帶負電多，減少肥分之損失。
8.產生腐植質，有緩衝能力。

這些效果，直接施用稻草等農畜廢棄物掩埋於土壤中

亦可得到同樣效果，並且較省工、省時間與省能源的優點。為什麼還要堆肥化才去使用，因為未堆肥化直接使用有許多缺點，妨害了工作或作物生長，甚至傳染病害給人類，為避免這些缺點，農牧廢棄物才需要製成堆肥使用，其理由詳述如下（吉田，1941；盛澄淵，1961）：

1. 改善物理性；菜桿等粗大有機廢棄物，多數物理特性不良，直接使用在作物生育上由養分以外之處為害作物對收量有不良影響，宜將物理性狀改善至無害。
2. 降低碳氮比，避免與植物養分競爭；農產廢棄物幾乎所含氮素，成分極少，相對有機物含量過多，直接施入土壤，微生物分解繁殖構成微生物體之氮素，成分不足易與植物競爭吸收氮素而使植物缺氮成氮素飢餓狀無而影響正常發育。
3. 減少體積，便於運輸：農畜廢棄物經堆積後，由於腐熟而減少容積。一般而言，從堆肥完熟後，可縮小容積玉原來容積之五分之一，不但容易搬運不佔容積，尚可節省搬運費用。
4. 殺死雜草種子、病菌、害蟲；農畜廢棄物常附著雜草種子、病菌、害蟲，直接使用會增加雜草與病蟲害，使生產成本增加，甚至會傳染生物疾病，經堆肥化所產生之溫度可殺死雜草、種子、病菌及害蟲（見表三、表四、表五）。
5. 減少氧氣不足引起問題；農畜廢棄物直接施入土壤，由於分解而消耗土壤之氧氣，使土壤成為還原狀態，產生一些還原物質，如硫化氫，有機酸、酚類等不完全氧產

物對作物有毒害作用或抑制用。另類不完全氧化產物，如甲烷、氧化亞氮較完全氧化者易引起地球溫暖化作用。

表三、堆肥溫度對雜草種子發芽率之效應

種類	發芽率 (%)		
	在堆肥表面低於 50 ℃ 放 11 - 14 日	堆肥中 60 ℃ 放 2 日	對照組
Digitaria adscendens	96	0	74
Penicum villosum	72	0	87
Cyperus microiria	56	0	30
Cheopodium album	26	0	16
Portulaca oleracea	85	0	91
Amaranthus blitum	68	0	70
Acalypha australis	7	0	51
Oryza sativa	75	0	98
Hordeum vulgare	16	0	96

(Harada,1995)

表四、病原菌及寄生蟲致死溫度及時間

種　　類	溫　度 (℃)	時　間 (min)
Salmonella typhosa	55 - 60	30
Salmonella spp.	56	60
Shigella spp.	55	60
Escherichia coil	55	15 - 20
Streptococcus pyogenes	54	10
Mycobactreium diptheriaw	55	45
Brucella abortusorsuis	61	3
Endamoeba histolytica (cysts)	55	
Taenia saginata	55 - 60	5
Trichnella spiralis	62 - 65	
Necator americanus	45	50
Ascaris iumbricoides (eggs)	60	15-20

(Harada,1995)

表五、常見病原微生物及蒼蠅溫度感受性

類別	病名	病原	溫度、時間	感受性
病毒	新城雞病	Paramyxovirus	56 ℃ , 6hrs.	+
	傳染性支氣管炎	Coronavirus	56 ℃ , 15min.	+
	傳染性喉頭氣管炎	Herpesvirus	30 ℃ , 5min.	+
	馬立克病	Herpesvirus	60 ℃ , 5min.	−(or+)
	雞痘	Poxvirus	60 ℃ , 8min.	+
	家禽流行性感冒	Orthomyxovirus	56 ℃ , 30 min.	+
	傳染性滑氏囊炎	IBDV	56 ℃ , hrs.	−(or+)
	口蹄疫	Picornavirus	70 ℃ , 15 sec.	−(or+)
	假性狂犬病	Herpesvirus	70 ℃ , 5min.	+
	豬瘟	Togavirus	60 ℃ , 10min.	+
	傳染性胃腸炎	Coronavirus	45 ℃ , 45 min.	+
細菌	黴漿菌症	Mycoplasm	56 ℃ , 30 min.	+
	雛白痢	Salmonella	60 ℃ , 5min.	+
	傳染性可利查	Haemophilus	55 ℃ , 6min.	+
	巴氏桿菌症	Pasteurella	60 ℃ , 30 min.	+
	葡萄球菌症	Staphylococcus	60 ℃ , 60 min.	+
	豬丹毒	Erysipelothrix	56 ℃ , 10 min.	+
寄生蟲	球蟲症	Coccidia	45 ℃ , 24 hrs.	+
	蛔蟲症	Ascarids	54 ℃ , 5 min.	+
蒼蠅卵			45 ℃ , 24 hrs.	+
蒼蠅蛆			60 ℃ , 12 hrs.	+

＋：不活化或死滅。－：有感染性。

參考文獻

1. 台灣省政府農林廳。 1997 。民國八十六年版台灣灣農業年報。
2. 林財旺、簡宣裕。 1995 。農畜產廢棄物利用及堆肥製造之現況，有機質肥料合理施用技術研討會專刊。 pp 43-58。
3. 農業發展委員會第三處。 1981。 農業生產與能源問題，能源與農業。 pp 1-7 中華農學會。
4. 王銀波。 1981 。化學肥料代用品之可行性，能源與農業。 pp 25-28 中華農學會。
5. 王西華、鐘月容 （未發表） 。稻米栽培過程中能量之投入及其效率。
6. 吉田一男。 1941。 堆肥明文堂。
7. 盛澄淵。 1961。 肥料學國之編譯館。
8. 王銀波、趙雲慶、譚鎮中、楊盛行、賴朝明、黃山內、劉瑞美。 1998 。作物生產對台灣地區溫室效應氣體之產生量及減量措施。氣候變遷對農作物生產之影響。 pp 121-140 ，台灣省農業試驗所。
9. 台灣省畜牧廢棄資源再生利用協會。 1998。 禽畜糞堆肥處理技術輔導手冊， pp 104-105 。
10. Arnold Finck. 1982. Fertilizers and Fertilization Verlag chemie。

第五章 堆肥製造原理

林鴻淇

國立臺灣大學農業化學系教授

摘 要

堆肥是堆肥材料在堆肥化過程中的產物。堆肥材料中有一部份容易被微生物分解利用來做生長和新陳代謝。一部分比較難分解利用。在堆肥化過程中會形成較容易礦質化的營養性腐植質和較不容易礦質化的特久性腐植質。

堆肥化作用是微生物把堆肥材料轉化成堆肥的生物化學過程。決定這個過程的因子是：堆肥材料的微生物營養性狀，材料中的水分活性，在堆肥化過程中的鹼性度，維持好氣性狀態。創造堆肥化的有利條件包括接種大量的堆肥化菌群。利用一部分堆肥回流當做接種源是最方便而確實的方法。維持一段時間的微生物代謝熱燠積有利於嗜熱性微生物的堆肥化作用，並有消除病蟲害和雜草的效用。另一方面也利於消除低分子量代謝產物，增加高分子量的聚合物；提高腐熟度，消除對作物種菌的傷害。

提高持久性腐植質的比例能讓施用堆肥於土壤中時使土壤有機物含量提高。要充分利用 C/N 比大的堆肥材料時要在堆肥化過程中添加化學氮素肥料，使其轉化成營養性腐植質和持久性腐植質，因而使化學氮素肥料緩效化；同時增強堆肥化過程，增加堆肥產量。

一、製造堆肥的過去和現在

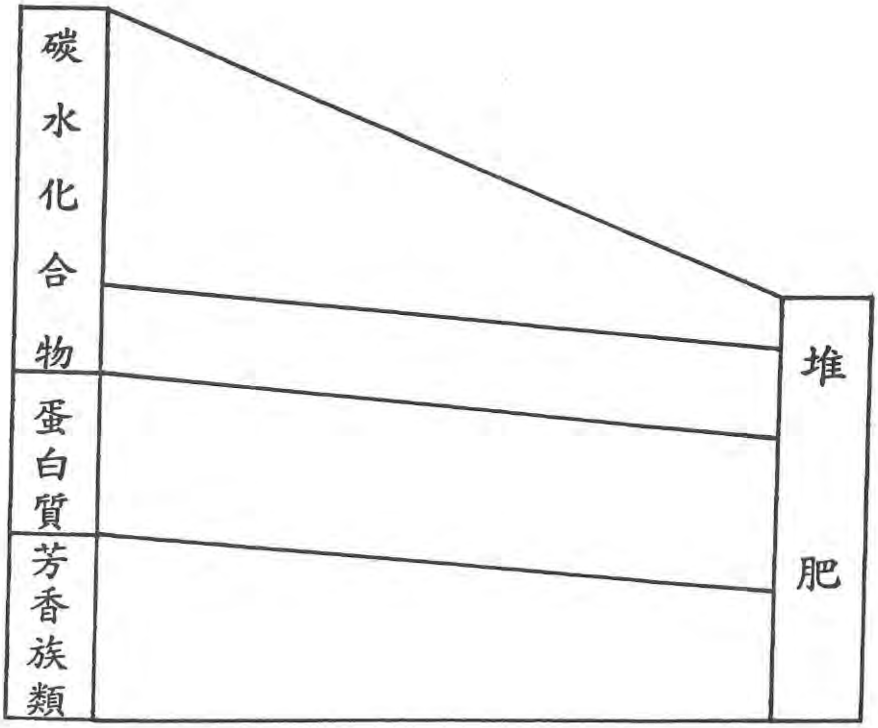
進入農業時代以後就知道製造堆肥。古代稱為糞，是有機材料經過堆積細碎成米粒大小，且性狀變異而成的。 Napoleon 因硝來源被英國切斷，下令全國農場做堆肥來生產硝。台灣在二次大戰的前後都獎勵興建堆肥舍製造堆肥。 1960 年代，台灣大量栽培洋菇而研究稻草堆肥製造技術。 1960 年代後期由台糖退休員工引進現代機 械堆肥化工程，「大同有機肥料公司」。 1980 年代後期因提倡「有機農業」，研究堆肥製造的方法再度成為熱門。

二、堆肥材料

堆肥材料來自草木。如穀類作物之槁桿、枯枝落葉、食品飼料、樹皮、鋸屑、荁萁及蔗渣等等。這些是初級材料。禽獸等排泄物則為已經通過初步堆肥化的次級材料。初級材料中醣類，蛋白質類，和一些脂類容易堆肥化；芳香族類化合物不易堆肥化。前者轉化成容易礦質化的〝營養性腐植質 nutritive humus〞後者則轉化成〝持久性腐植質 durable humus〞。

三、堆肥化 (composting)

堆肥化作用是堆肥材料由生物予以消化，水解後利用這些生質能源來做繁殖，生長和新陳代謝。用化學和生物化學過程合成次生產物，再經過氧化聚合而成腐植質。飼料通過動物胃腸予以消化，吸收同化，代謝異化後排泄的糞尿可看成一種堆肥化過程。經過此過程消耗大量能源並大量繁殖微生物族群， 使排泄物之後續堆肥化過程更容易。



圖一、堆肥材料之堆肥化過程

一般所認識的堆肥化過程可簡約地說：堆肥化是堆肥材料中微生物族群的繁殖過程。菌體和小分子代謝物構成營養性腐植質，一些由材料分解來的產物和代謝產物經化學反應而環狀化，再經過氧化聚合而形成持久性腐植質。腐植質含碳約 58 % 含氧較少， C/N 比在營養性腐植質為 10 - 12 ；在持久性腐植質為 8 - 10 。

表一、持久性腐植質含量與 Ch / Nh 比值
(Scheffer 等， 1941)

	Ch : Nh	持久性堆肥 (%)
黑　　土	6 - 8 : 1	70 - 80
棕　　土	6 - 8 : 1	40 - 60
灰　　壤	20 : 1	30 - 60
沼 澤 土	16 - 30 : 1	30 - 45
堆　　肥	9 : 1	31
廄　　肥	12 : 1	33

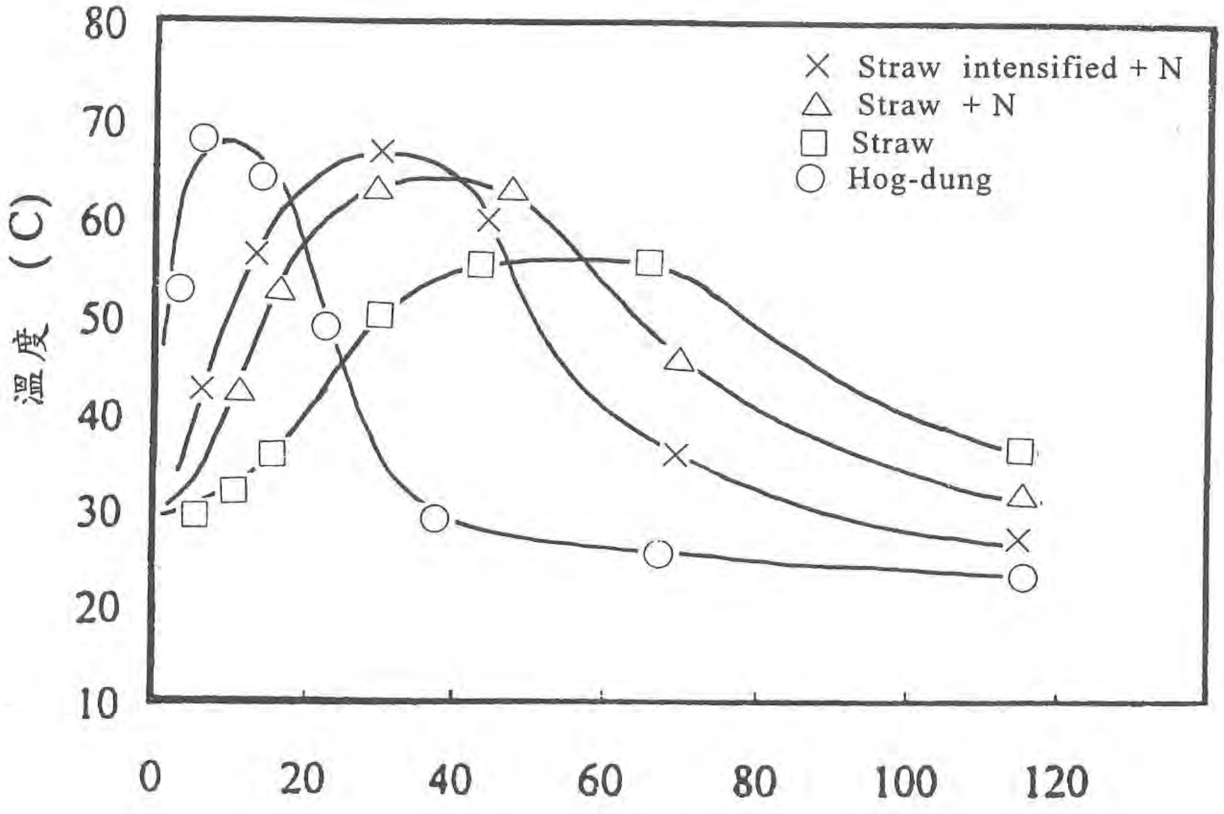
四、堆肥化過程

堆肥化過程是在堆肥材料上微生物族群繁殖的過程。堆肥材料要具有：

1. 微生物所需的能源。
2. 微生物生長所需的 N ， P ， S 及 K 等養分。
3. 能使堆肥材料被微生物利用的水分活性。
4. 供微生物生長呼吸和維持呼吸所需的氧氣。
5. 供代謝產物氧化聚合的氧氣，高 pH 值和較高溫度。

堆肥材料須含有 60 % 的水分。堆肥的目的之一就是保持適當的水分含量。存在堆積材料中的菌落開始繁殖。菌群繁殖的容量極限受可利用氮源量限。在 P ， S 及 K 等不為限制因子下，易利用性能源多，氮源多則繁殖快。如雞糞。微生物族群繁殖過程中，生長呼吸和維持呼吸產生的代謝熱的煐積會使堆積體溫度

升高。呼吸使氧氣耗竭。高溫使水分逸散。菌群社會由中溫菌群 (mesophilics) 遞擅至高溫菌群 (thermophilics) 易利用性能源逐漸消耗，次生產物逐漸蓄積。堆肥的性狀品質用腐熟度來評定。



圖二、堆肥化過程 (天)

以下是堆肥化過程中的有利條件，但不是必要條件

1. 接種菌苗

堆肥材料本身已感染很多的菌種。在良好的堆肥條件下各菌種開始繁殖。如果已浸潤的堆肥材料中含有足夠的易利用性能源和 N ， P ， S 及 K 等養分時，菌群社會很快繁殖。

由嗜溫性菌群和嗜熱性菌群遞擅 (successive dominance) 。在堆肥材料中接種主要在改善起始點的菌群密度以加速整個堆肥化過程。用純粹培養的菌群做為接種源 (inoculum) 必須要這些菌種能壓制材料中原已存在的菌。經過殺菌手續而接種的例如豆瓣醬或味噌。接種特殊菌種使產生抗生素來抑制馬鈴薯痂皮病 (scabby disease) 。目前國內外也有製造堆肥的各種接種劑。大致上都沒有顯著效果。堆肥製造過程中回流部分堆肥與新鮮材料混合是最有效的實用方法。

2. 高溫

堆肥材料的每克乾物質含 4 - 5 Kcal 的熱量。呼吸掉一克葡萄糖產生 4.2 Kcal 。隨著堆肥材料中菌群的繁殖，生長呼吸和 維持呼吸急速增加。假定一噸乾草含一噸水分，則這堆材料在絕熱狀態下呼吸掉 10 kg 所產生的熱足可以把整堆從 30 ℃ 加熱到 70 ℃ 。在靜態堆積條件下，菌群大到所產生的熱量大於逸散熱量時，經過一段時間後就可使中心部燠熱到 70 ℃ 。假如初始菌 群密度不大，堆肥材料 C/N 比又很大，堆積體的比散熱面積很大，則會使堆肥化失敗。隨著堆積體的溫度升高，擅場菌群 (dominant microflora) 也會由嗜溫菌群變換為嗜熱菌群。通常嗜溫群是很有效率的。所以堆積的高溫度不是必要的良好條件。高溫也不是消除病源和殺除雜草種子必要條件。但是高溫加速化學反應，如氧化聚合反應形成次生大分子腐質素 (humin) 。

3. 高 pH 值

在堆積體中多濕少氧之處容易產生一些有機酸。假定所產生酸當量大於堆肥材料中的鹼性度 (alkalinity) 則此處會有酸

性反應。這種條件對細菌的繁殖不利。在堆積過程中所產生的小分子物種對植物幼根有害。這些小分子化合物在高 pH 值下容易氧化聚合成大分子因而得以消除其植物毒性。對堆肥材料加入石灰以提高其鹼性度是適當的手段。

4. 翻堆

靜態堆積體的外圍容易散熱和失水，所以必需翻堆加水把它包到堆的中心部進行堆肥化同時補充氧氣使整堆菌群能夠繁殖。假定堆肥化工程的設計能改善這些缺點就可以不必要把堆積體翻堆。例如在旋轉筒中控制水分，氧氣分壓和溫度在 40－50 ℃ 就能均勻地進行堆肥化。抽氣式堆積方則從上面灑水和抽入空氣到堆積體中。

五、臭氣

堆肥材料含有高濃度的含氮化合物時，尤其像魚肉或禽畜排泄物，則堆肥化過程中會有臭氣逸散出來。這些主要是有機 氨。消化管道來的排泄物中膽汁含有 indole ， skatol 及 tyramine 等，這些氣體會誘引蒼蠅。油脂的分解物也有臭味。在良好的堆肥化條件下，有臭味的氣體會被吸附後被微生物分解利用。用一些簡單的設施能把這些氣體吸附分解，如利用正在堆肥化的物料可以做成生物濾紙 (biofilter) 。常用的生物濾紙是採用樹皮做成骨幹的堆肥化中的薄層。

六、腐熟度

堆肥化的過程中可以獲得各種腐熟度的堆肥。堆肥化的目的就是要把容易分解利用的生質能源例如醣類，蛋白質類等藉微生

物的同化，代謝予以轉換成腐植質。在這過程中所產生的小分子物種對植物幼根的發育，生長有害。這些小分子物種經過氧化聚合成較為穩定而無害的腐植酸，腐植素 (humin) 。

腐熟度低的堆肥施用到土壤中仍會產生小分子代謝物，仍會造成土壤中無機養分的固定化 (immobilization) 。腐熟度的特徵能由顏色判斷。例如剛排出的糞便是黃色的，經過氧化聚合後 顏色逐漸變成黃褐色，深褐色。這個可以用對 400 nm 和 600 nm 光波的吸收度 (absorbance) 來判定。因為分子要大於光波波長的一半才會引起干擾。所以可以由 E4/E6 的變化做為腐熟度的指標。C/N 比值也是常用的指標。

表二、低分子量脂肪酸對水稻生長之影響(植後 28 天)

Chandrasekaran and Yoshida (1973)

低分子脂肪酸 (用量為 1 mmol/100 g soil)	乾重 (克)	
	根	秧株
空白	1.70	4.56
乙酸	1.40	3.70
丙酸	1.00	3.54
丁酸	0.90	2.99
戊酸	0.29	1.20

七、製造質好量多的堆肥

許多 C/N 比很大的堆肥材料會造成生質能源的浪費。假定在堆肥化稻草時能外加化學肥料把 C/N 比由大於 60 調到小於

40 時，可以充分利用醣類做成腐植質，增加堆肥的產量，也能提高品質。假定用堆肥的目的是要增加土壤有機物的含量時，要延長腐熟化時間來增加大分子腐植素的比例。堆肥化也能把植酸 (phytin) 水解由微生物轉換成容易利用的磷酯類，避免植酸固定成鐵鋁鹽類，提高堆肥中磷的有效性。

第六章 製造堆肥時材料的碳氮比及水分含量之調整

簡宣裕

行政院農業委員會農業試驗所

一、為何需要調整碳氮比值以及水分含量？

有機物質若是碳與氮比值太大，直接施入於土壤中，在施用後初期，因為微生物與生物的大量生長而造成土中可供作物吸收利用之有效性氮素、磷素及鉀素減少，尤其以有效性氮濃度的減少最明顯，以及微生物的快速生長，造成作物根部環境缺氧、溫度太高、及產生對作物有害化學物質如有機酸與酚酸等，而對作物生長不利。有機物質之碳與氮比值太低，若直接施用於土壤中，則會產生局部高濃度的氨氣，造成對作物的毒害。有機物質經堆肥化發酵過程，主要目的是藉由發酵過程將有機物質之化學性與物理性加以穩定化，再施用於土壤時，才不會對土壤及作物造成傷害，反而有益於作物的生長。故一般有機物質不能直接施用於土壤中，須要製成堆肥後才能使用。

有機物質用來製造堆肥時，要注意的兩個重要因子是碳氮比值及水分含量。碳與氮比值大之有機質材料用來製造堆肥時，微生物雖然有足夠之碳化合物當做活動時能源，但是氮含量比例少，碳氮比值下降的速度緩慢，

堆肥化過程所需要的時間較長，往往須要 3 至 4 個月甚至半年或一年以上的時間。碳與氮比值小的有機質材料，因為氮含量比例高，在堆肥化過程中會有大量氨氣揮發，而造成氮素的損失。故要加速有機物質之腐熟速度，以及減少在堆肥製造過程中氮素的損失，於製造堆肥之前，事先調整材料的碳氮比值以及水分含量是須要的步驟。依據前人之研究經驗將製造堆肥材料之碳氮比值調整為 30 較有利於發酵，因為在此種碳氮比值條件下，可以用來快速製造堆肥，且能避免於堆肥化過程中氮素大量的揮散損失。

製造堆肥，雖然其他發酵條件完備，但是堆積材料不能保有適當的水分條件，則堆肥腐熟的速度緩慢，也不能獲得品質良好的堆肥。一般而言製造堆肥最合適的水分含量應該調整在 55 % 至 65 % 之間。水分含量太高時有利於嫌氣性菌生長，而不利於真菌、好氣性細菌及放射菌之生長，而真菌、好氣性細菌及放射菌是堆肥化過程中最主要之微生物，故水分太高不利於堆肥之發酵腐熟，低水分含量雖有益於好氣性微生物生長，但因水分含量太低時則卻不利於微生物繁衍，會增加堆肥化過程所需要的時間。

二、堆肥製造時如何調整材料適當的碳氮比值以及水分含量

首先須要對所使用的材料加以瞭解成分，表一為幾種材料之成分，可以供給各位讀者參考，不過最好還是先將自己擬使用的材料送請專業人員化驗分析，然後依

據材料的成分含量，參考下列方法計算即可。

表一、幾種製作堆肥材料之水分、碳及氮含量

	碳	氮	水分	碳與氮比值
	------------	%	----------	
豬糞	43	3.0	72	14.3
雞糞	34	4.2	56	8.1
牛糞	51	2.7	84	18.8
稻草	53	0.7	14	76.0
稻殼	53	0.6	12	88.3
廢棄菇類木屑	45	0.7	67	64.3
闊葉樹樹葉	55	1.2	15	45.8

若以雞糞及稻草當做材料，混合發酵製作堆肥為例。由表一可以知道雞糞含氮 0.7 % 、 碳 34 % 、碳氮比值為 8.1 及水分含量為 56 %，稻草含氮 0.7 % 、碳 53 % 、碳氮比值為 76 及水分含量為 14 % 。設堆積材料總乾重為 100 公斤，雞糞佔 x 公斤，則稻草佔 100 － x 公斤，混合後碳氮比值調為 30 ，水分含量為 65 % 。依照下列式子加以計算：

因為

$$\frac{\text{材料含碳量}}{\text{材料含氮量}} = \frac{(x)(34) + (100\text{-}x)(53)}{(x)(4.2) + (100\text{-}x)(0.7)} = \frac{30}{1}$$

(x)(34)--來自雞糞碳量，(100 − x)(53)--來自稻草碳量

(x)(34) + (100 − x)(53) --- 堆積材料含碳重量

(x)(4.2) + (100 − x)(0.7) --- 堆積材料含氮重量

所以

(30) (x) (4.2) + (30) (100 − x) (0.7)

= (x) (34) + (100 − x) (53)

126x + 2100 − 21x = 34x + 5300 − 53x

126x − 21x − 34X + 53X = 5300 − 2100

124x = 3200，x = 25.81 公斤 --- 乾雞糞量

100 公斤 − 25.81 公斤 = 74.19 公斤 --- 乾稻草量

$$\frac{25.81\text{ 公斤}}{0.44} = 58.66\text{ 公斤}$$ --- 雞糞量（含水分）

$$\frac{72.40\text{ 公斤}}{0.86} = 84.19\text{ 公斤}$$ --- 稻草量（含水分）

所以將 58.66 公斤雞糞（含水分）和 84.19 公斤稻草（含水分）相互混合後，便能使製造堆肥材料的碳氮比值調整為 30。若擬調製造堆肥材料之水分為 65 %，則依下列式子計算，因為

(58.66) (0.56) = 32 . 85 公斤 --- 來自雞糞之水量

(84.19) (0.14) = 11 . 79 公斤 --- 來自稻草之水量

且設需要添加的水量為公斤，則

$$\frac{\text{來自雞糞水量} + \text{來自稻草水量} + \text{需要添加水量}}{\text{雞糞重量} + \text{稻草重量} + \text{需要添加水重量}} = 0.65$$

$$\frac{32.85 + 11.79 + Y}{58.66 + 84.19 + Y} = 0.65$$

$$\frac{44.64 + Y}{142.85 + Y} = 0.65$$

$(0.65)(142.85 + Y) = 44.64 + Y$

$92.85 + 0.65\,Y = 44.64 + Y$

$Y - 0.65\,Y = 92.85 - 44.64$

$0.35\,Y = 48.21$

$Y = 137.74$ 公斤——需要添加的水量

故將 58.66 公斤雞糞和 84.19 公斤稻草相混合，然後再添加 137.74 公斤水，就可以讓製造堆肥材料的碳氮比值調為 30 ，而且水分含量為 65 % 。

三、結　語

上述例子是將製造堆肥材料之水分與碳氮比值調為 65 % 和 30 ，若是讀是或農民想將製造堆肥材料調整至自己所希望之水分含量與碳氮比值，則可參考上述所寫的方程式，計算出各種材料應該混合的重量以及須要添加水分之重量。

第七章 如何控制堆肥品質

謝欽城

國立屏東科技大學教授

一、前言

本省農業為了因應轉型的需要，使用有機質肥料代替化學肥料，已漸受農民的重視，但目前有機質肥料處理中心有公、民營多處，然為著使農業永續經營，應使有機質肥料場之產品品質穩定且衛生，故於製造過程中，應注意堆肥品質的控制，以使產品不會對於農業或環境造成二次污染。

二、有機物堆肥化處理之原理與條件

(一)堆肥化之原理

農產廢棄物皆以有機物為主，然於本省目前情況以畜禽排泄物較多，故現以畜禽糞為例，說明堆肥化之原理，畜禽糞堆肥化發酵處理是利用畜禽糞中之微生物活動，分解畜禽糞中之有機物，同時由於有機物的分解，產生熱量，促進材料之腐熟與水分蒸發。

畜禽糞之發酵處理，可分為好氣性與厭氣性兩種，厭氣性發酵時，腐熟分解慢，發酵的溫度介於 38 ℃ ~ 55 ℃ ，且大腸菌與病原菌滅死困難，尤其於發酵過程中容易產生惡臭，一般於應用上不太適當。好氣性發酵是屬於一種高溫發酵，故腐熟分解時間短，且不容易產生惡臭，尤其是大腸菌、

寄生蟲卵及雜草種子滅死容易，故此種處理方式，可生產衛生且穩定的堆肥。

於畜禽糞堆肥化發酵處理時，最重要的是好氣性微生物於材料內，能產生均勻性的活動，才能生產出品質均一的堆肥，然要使微生物活動能活躍，必需使原料的含水率、通風及攪拌適當。利用脫水或添加木屑、粗慷、及完熟堆肥等方法來調整材料的水分，使原料形成膨鬆狀態，材料中的空隙率增加，以便能達到良好通氣的效果。通風與攪拌可使原料內部微生物的繁殖活躍，以便進行好氣性發酵處理，縮短堆肥化所需要的時間。

畜禽糞堆肥化發酵處理時，由於原料中有機物分解所產生的熱量，將使原料的溫度上昇與水分蒸發，然而原料所蒸發的水分，如其周圍環境，不能使其去除時，將使水分蒸發的效果降低，故為了能促進水分的蒸發，最有效的方法，是於原料中供給新鮮的空氣，此種方式將能獲得促進有機物的分解，而產生較大量的熱能，且又能促進水分的蒸發，以便能提高乾燥的效果，堆肥化發酵處理之化學反應式如式 (1) 所示：其中生成堆肥 $C_wH_xN_yO_z \cdot cH_2O$ 與堆肥原料 $C_sH_tN_uO_x \cdot aH_2O$ 之比約 0.3～0.5，$W=5\sim10$，$X=7\sim17$，$y=1$，$z=2\sim8$，堆肥化發酵處理的條件相當的複雜，一般好氣性發酵處理之必要條件為空氣、含水率、pH 值、溫度、營養源。

$$C_sH_tN_uO_x . aH_2O + bO_2 \longrightarrow C_wH_xN_yO_z . cH_2O + dH_2O + eH_2O + fCO_2 + gNH_3 \quad (1)$$

材料　　　　堆肥

(二)堆肥化之條件

一般堆肥化處理時，由於好氣性微生物使畜禽糞等之堆肥原料產生分解、腐熟作用，於分解腐熟過程，將原料中對於作物的有害作用的物質除去或減少，並使原料的物性產生變化，故於田間施肥能獲得使用時較容易的效果，尤其是堆肥的品質能獲得均一。又由於一般好氣性為高溫發酵，將使病原菌及雜草種子死滅。

一般堆肥化發酵處理之條件為 (1) 營養源 (2) 溫度 (3) 含水率 (4) 空氣等四項，一般 (1) ~ (3) 為與厭氣性發酵共通的條件。如不通風時，其發酵將為厭氣性發酵。厭氣性發酵時，原料中有機物的分解速度顯著的降低，又產生惡臭及品質不均一等問題出現。

1. 營養源

畜禽糞中含有畜禽未消化吸收的營養物，其可當為微生物的最適營養源，然於排泄時，排泄物含有各種微生物，故不需添加微生物。 排泄物是由水分與乾物質構成，又乾物質是由有機物與灰分而構成，有機物中又分為易分解性物質與難分解性物質，於堆肥化發酵處理時，最主要是由於微生物的作用，使易分解性有機物產生分解，且於分解過程，會產生熱量來促進堆肥腐熟與水分的蒸發。

(1) 有機物分解時所產生的熱量

就畜產養殖而言，由於畜種及飼料不同，所排糞便有機物成分就有差異，每公斤有機物所產生之熱量在室內實驗結果，如表一所示（檜垣繁光， 1987）。事實上無法明確定出有機物發酵熱值，一般畜糞可以 4500 Kcal/kg ，調整材以 3000 ~ 4000 Kcal/kg 來做為發酵設施處理量估算之依據。又每公斤水分蒸發所須能量，理論上須 600 Kcal/kg ，但堆肥處理過程中，因材料溫度上升、通風空氣溫度上升、發酵槽壁熱損失、有機物分解使水分蒸發等,所需熱量全由有機物分解熱來分擔，從實驗結果推知，開放型設施每公斤水分蒸發量約須 900 Kcal ，絕熱較好的密閉型設施可以 800 Kcal 來計算。

表一、禽畜糞乾物熱值

畜種	糞的種類	含水率 (%)	熱值 Kcal	乾物減量 (%)	熱值/乾物減量 Kcal/減量 1 kg
雞	雛雞糞	68.0	3,239	73.4	4,412
	成雞糞(堆積 1 個月)	73.4	2,786	67.8	4,109
	成雞新鮮糞	74.2	3,095	70.0	4,421
豬	仔豬新鮮糞	69.5	4,081	80.2	5,088
	成豬糞(肥育)	73.0	4,105	67.5	6,081
	成豬糞(種豬)	76.7	2,723	80.2	3,395
牛	乳牛糞(成牛)	85.5	3,536	76.5	4,622
	(肥育)	87.5	3,154	79.4	3,972
	(小牛)	80.2	2,700	85.3	3,165

(2) 有機物分解率

有機物分解率是微生物生長活性的參考指標之一，

它與處理停留時間、處理前後含水率變化及處理量的計算有密切關係，而畜糞依畜種和處理方式之不同，其有機物分解率為 20 ~ 55 %（沈韶儀， 1992），因此在堆肥設施規模計算上是一重要的設計因子。其計算公式如下:

有機物分解率 (%) = (處理期間乾物減少量/處理前總乾物重) × 100

每日平均分解率 (%) = (乾物分解率/處理日數) × 100

一般在實驗規劃時可利用日本的經驗公式計算出有機物分解率，由堆肥材料性質，有下列兩公式供參考:

(1) 添加木屑調整材

$$\log(Y - 0.2Y_0) = \log 0.8Y_0 - 0.005X$$

(2) 畜糞

$$\log(Y - 0.2Y_0) = \log 0.8Y_0 - 0.015X$$

Y: 乾物重 (kg)。 Y_0: 初期乾物重（假設 100 kg）。

X: 處理時間（日）。

2. 溫度

微生物於攝取 C 與 N 之生長增殖之際，由於細胞中所攝取物質進行生化反應而產生熱量，發酵開始時，以代謝（物質之合成、分解作用)為主之生長最適溫度為 20 ~ 45 ℃之中溫細菌進行繁殖，又由於中溫細菌之活動，使發酵溫度

慢慢的上昇，而後發酵溫度上昇至生長最適溫度之 45 ~ 60 ℃ 高溫菌進行繁殖，最後溫度將上昇 60 ~ 70 ℃ 以上進行發酵。

一般微生物在 −5 ℃ ~ +80 ℃ 間可成長增殖，30 ℃ 以上時溫度愈高增殖愈顯著，但是微生物之活性以複合細菌比單一細菌較佳，禽畜糞含有多種類微生物，故其發酵效果較佳。

為促進禽畜糞發酵效果，必需要高能量的營養源補給及 pH 值的調整，但禽畜糞於發酵處理時，可不需考慮這些因素的調整，因其本身已具有合適的條件，如要控制發酵溫度，可藉由攪拌、翻堆及送風來控制。

3. 水分

微生物於乾燥狀態時，活性微弱，含水率在 40％ 以下時，微生物的增殖受到抑制。另一方面而言，於禽畜糞堆肥化處理時，好氣性微生物若在於空氣供給充分的狀態下，微生物於高水分狀態也能增殖。

一般將剛排泄時的禽畜糞直接投入處理設施，進行堆肥化發酵處理，因含水率較高，故要進行好氣性發酵處理較難，故為著使排泄時的禽畜糞能快速處理，一般改善禽畜糞含水率增加其通氣性的方法，有預備乾燥、固液分離及添加水分調整材。

為獲得良好的通氣性，則禽畜糞中的孔隙率應在 30 ％ 以上，禽畜糞於進行好氣性發酵處理時各畜種含水率，經筆者試驗結果顯示，牛豬糞在 60 ~ 70 ％ ，雞糞 50 ~ 55 ％ ，一般如以目前本省豬糞經固液分離後，其固形物的含水率在

75～80％ ，因而其要進行好氣性發酵時，必需將分離後的固形物含水率降低，才能獲得良好的處理效果。由此可知禽畜糞於投入處理設施時，事前調整含水率，是為一項很重要的步驟。

4. 通氣

使好氣性微生物增殖時，氧氣的供給為不可缺的條件，由於微生物的增殖，使禽畜糞中的有機物分解，產生熱能促進禽畜糞的腐熟及水份的蒸發，一般禽畜糞中氧氣之供給方法，可分為翻堆攪拌或強制送風兩種，但是送風量的大小，主要和處理設施與方式有關，禽糞含水率 70％ 以下， 0.1 CMM/M^3 以下， 70％ 以上 0.1～0.15 CMM/M^3 ，堆積高度 1 m 以上， 0.1 CMM/M^3 以上 （檜桓敏光， 1987） ，但實際設計，送風量的設計是大於上述值，據筆者現場指導的經驗，其送風量的要求，應為堆肥每立方米送風 0.2～0.4 M^3/min （堆積高度 1.2 m） ，如於設計時，送風量太大，雖然容易使原料的水量蒸發，但由於送風將熱量帶走，反使原料的發酵溫度不容易提昇。

攪拌翻堆是為著增進空氣與原料均勻接觸，供給微生物充足氧氣及促進材料水份蒸發的最好方式，開放型發酵槽專用攪拌翻堆機每日攪拌翻堆 1－2 次，密閉型發酵槽每小時翻堆 20－40 次/時 （1－3 轉/日） （原田靖生， 1987） 。

三、堆肥之腐熟度判定

一般堆肥腐熟度之判定方法，可分為利用生物反應判定方法及化學分析判定法。生物反應判定方法是利用蚯蚓及作物種子判

定有害物質之有無。而化學方法之指標是利用堆肥之 C/N 比，BOD 、 COD 及還原糖比率等方法，來進行判斷，但一般腐熟度之判定是利用泛用性判定法，其方法簡介如下：

1. 外觀之評點法。
2. 溫度判定法。
3. 色澤判定法。
4. 手觸法。
5. 蚯蚓法。
6. 發芽試驗法。
7. 幼植物試驗法。

四、結論

堆肥品質的控制，應從生產過程中開始，故生產者應注意原料來源與控制，且應注意生產過程中溫度的變化，才能提供穩定且衛生的堆肥給消費者使用，以達到農業之永續經營。

第八章 堆肥品質鑑定方法

簡宣裕 鄭智馨 張明暉

行政院農業委員會農業試驗所

一、觀察堆肥外觀顏色與味道

腐熟的堆肥，外觀顏色為深黑色或黑褐色，膨鬆感覺，吸水能力強，味道為泥土味至芳香味（例如純蔗渣堆肥），不能有酸壞臭味、惡臭或濃厚的氨氣味。而發酵不良，品質不好的堆肥，通常顏色為黃色或黃褐色。

二、種子發芽測定法

5 公克風乾堆肥加 100 毫升 60°C 溫水，置於 200 毫升燒杯內，在 60°C 水浴中經 3 小時後，以細紗布過濾，2 張濾紙置於培養皿中，加入 10 毫升濾液，25 粒白菜種子放在濾紙上面，培養皿置於 25°C 恒溫箱內，3 天後，觀察種子發芽率以及根生長情形，另外以蒸餾水代替濾液進行試驗，做為對照用，若試驗組的發芽率為對照組發芽率的 90 % 以上，且根的伸長不受抑制，則該堆肥可視為腐熟。

三、還原醣含量

一般而言，堆肥的還原醣含量與總碳含量的百分比 < 35 %，則堆肥可視為腐熟，若高於此百分比，則為

尚未穩定腐熟的堆肥。

四、濾紙擴散顯圖測定法

濾紙先以 0.5% 硝酸銀溶液浸泡，烘乾待用。5 公克堆肥，加入 50 毫升的 1% 氫氧化鈉，振盪 5 小時後，以 3000 rpm 轉速離心，用棉花蕊心浸沾上澄液，點於濾紙中央，依在濾紙擴散顯圖的形狀及顏色，比照表一的資料，可判斷堆肥是否為腐熟。

表一、堆肥樣品抽出液（以 1% 氫氧化鈉抽出）點於濾紙上，擴散顯圖之形狀與顏色

位置	新鮮堆肥	腐熟堆肥
擴散圖中央	顏色為白色至粉紅色	顏色為紅色至紫色
擴散圖中間帶	形狀為環狀	形狀為不規則狀
擴散圖邊緣	邊緣非鋸齒狀	邊緣為鋸齒狀

五、塑膠袋法

適用於堆肥廠現場之簡易判定法。新鮮堆積材料含許多易被分解的有機物，經微生物與生物作用後會產生多量氣體，塑膠袋因而馬上膨大如氣球，堆積材料愈接近腐熟則氣體產生的速度愈慢且量愈少，當然塑膠袋不會馬上鼓起來，甚至於不會鼓起來。此法可利用於以禽畜糞為堆積材料製造堆肥時，腐熟度定性的測試，但難判定完全腐熟與否。

六、蚯蚓法

堆肥與純水以 3：2 比例混合均勻後，放入 1/2 至 2/3 杯量堆肥於黑紙罩住四周的杯子（最好 500 毫升以上）中，把蚯蚓置於堆肥上面，因蚯蚓有棲息於暗處之習性，若蚯蚓有往下鑽入堆肥之現象則表示堆肥已腐熟，若蚯蚓有逃避離開的反應，甚至死亡，則表示此堆肥尚未腐熟。此法適用於判斷禽畜糞堆肥是否腐熟。

七、幼植物試驗法

設 4 種處理，處理 A：500 毫升風乾土壤裝入盆栽盆內，處理 B：同處理 A 但加施 N、P_2O_5 及 K_2O 各 35 毫克，處理 C：350 毫升風乾土壤與 150 毫升堆肥混合均勻後裝入盆栽盆內，處理 D：同處理 C 但加施 N、P_2O_5 及 K_2O 各 35 毫克。每處理 3 重複。盆栽盆直徑為 11.3 公分，高為 6.5 公分。上述各試驗處理的盆栽土壤加入適量水分後播種 20 粒小白菜種子，比較各處理的小白菜生育狀況做為堆肥腐熟之判定依據。

八、花粉管伸長法

堆肥與純水以 1：2 比例混合，浸泡一夜後，用紗布搾濾出濾液，以濾液（用純水做為對照）配製培養基（含 8 % 蔗糖、1.2 % 洋菜及 17 ppm 硼酸），培養基加熱使洋菜熔解後傾倒於培養皿，待冷卻凝固後，將花粉管置于培養皿上，於 25 ℃ 暗房內，經 20 小時

後，與對照組相互比較花粉管伸長情形。此方法在判斷樹皮堆肥是否腐熟時，常被採用。

九、近紅外線光譜測定法

一般而言，堆肥化過程中碳水化合物逐漸減少，但化合物的芳香基碳（aromatic C）及羧基（carboxyl group）則增加。新鮮堆積材料在波數 1720 cm^{-1} 至 1000 cm^{-1} 近紅外線光（infrared light）的吸光光譜形狀為許多小且尖銳（sharp）或斜肩（shoulder）吸收峰，而堆積材料愈接近腐熟則在此波數範圍內的吸光光譜形狀，吸收峰較少且平緩（leveled off）。新鮮堆積材料在波數 2900 cm^{-1} 至 2800 cm^{-1} 近紅外線光的吸光光譜形狀，其吸收峰的高度比腐熟堆肥者高。測定方法為：樣品以 105 ℃ 烘乾後磨粉過 0.25 毫公尺網目篩子，儲存於真空乾燥瓶（vacuum desiccator），取 100 毫克溴化鉀（KBr）和 2.4 毫克粉狀樣品混合均勻，壓成餅（pellet），置於近紅外線光吸光測定儀（infrared spectrophotometer），用波數 4000 cm^{-1} 至 1000 cm^{-1} 光波掃瞄測定樣品的吸光光譜。

十、二苯基胺（diphenylamine）呈色反應

5 公克牛糞堆肥放入 125 毫升玻璃三角瓶，加入純水 50 毫升，振盪 3 小時，以濾紙過濾，取適當量濾液放入小玻璃培養皿，用吸管吸幾滴含 0.012 % 二苯基胺之濃硫酸液，加入小培養皿內，若呈藍色反應者

表示已腐熟，新鮮牛糞則沒有藍色反應。

十一、堆肥的有機碳與氮比值及有機質含量

一般而言，腐熟堆肥的有機碳與氮比值大多低於 20（但樹皮堆肥的比值可能大於 20），有機質含量可以高於 60 %。但是，若以純雞糞製造堆肥時，因原料的有機質含量大約只有 55 %，故腐熟雞糞堆肥的有機質含量，極有可能低於 50 %。有機碳含量的測定方法如下：

（一）濕化法

試驗組，堆肥以 80 °C 烘乾磨粉後，稱 0.1 公克樣品放入 500 毫升三角玻璃瓶，加入 20 毫升的 1 N 重鉻酸鉀（$K_2Cr_2O_7$）及 40 毫升濃硫酸，靜置過夜，200 毫升純水加入三角瓶內，待三角瓶冷卻後，加入 3 滴 *o*-phenanthroline 指示劑，然後以 0.5 N 硫酸亞鐵（$FeSO_4 \cdot 7\ H_2O$）滴定至暗綠色。對照組，不加堆肥樣品於 500 毫升三角瓶內，其餘步驟同試驗組。以下列公式計算堆肥的有機碳含量（organic C, %）

有機碳含量 = (1 N x 20 ml − 硫酸亞鐵濃度 x 滴定 ml 數) x 3 x f

f：為校正因子，大約為 1.3

（二）燃燒法

樣品先用酸處理，去除碳酸鹽，然後置於燃

燒爐管，燃燒樣品，釋放出的二氧化碳被吸收塔中的氫氧化鈉所吸收，然後反滴定氫氧化鈉的減少量，便可計算出樣品中有機碳含量。

堆肥有機質含量（% ）＝ 有機碳含量 x 1.72 。

十二、有毒物質及重金屬含量

美國、日本對堆肥中有機污染物的規範，只有多氯聯苯 （PCB） 這一項，美國規定若要施用於農田，則堆肥的多氯聯苯含量不能超過 2 ppm ，日本的標準為堆肥的水抽出液，多氯聯苯含量，要低於 0.03 ppm ，測定多氯聯苯是需要同時用到氣體色層分析儀（GC）及質譜儀 （MS） ，須由專業人員來操作。堆肥中重金屬可以容許的含量，國內與國外的標準如表二所列。

十三、其他相關因素

（一）pH

腐熟堆肥的 pH ，一般接近中性 （堆肥樣品與純水以 1：5 混合均勻） ，但堆肥材料中若添加雞糞， pH 則有可能超過 7.0 ，如果以純雞糞當作材料，製造堆肥時， pH 可高達 9.0 左右。若堆肥的 pH 小於 6.0 時，此種堆肥可能是在嫌氣性條件下，進行發酵的結果，則屬於品質不好的堆肥。

表二、堆肥中重金屬容許含量（ppm）

國家	鎘	鉻	銅	汞	鎳	鉛	鋅	砷	鈷	鉬
美國	2-25	1000	450-1000	5-10	50-200	250-1000	900-2500			10
日本	5	(1.5)		2		(3)		50		
奧地利	4	150	400	4	100	500	1000			
比利時	5	150-200	100-500	5	50-100	600-1000	1000-1500			
哥倫比亞	2.6	210	100	0.8	50	150	315	13	26	5
意大利	10	Cr^{+3} 500 Cr^{+6} 10	600	10	200	500	2500			
荷蘭	0.7-2	200-50	25-300	0.2-2	10-50	65-200	75-900	5-25		
加拿大 Ontario	3-4	50	60-100	0.15-0.5	60	150-500	500	10-20	25	2-3
西班牙	40	750	1750		400	1200	4000			
瑞士	3	150	150	3	50	150	500		60	20
南韓	5			2		150		50		
中華民國（垃圾堆肥）	5	150	150	2	25	150	500	50		

（ ）：水抽出液濃度

（二）電導度（E.C.）

堆肥種類不一樣，電導度的測值（堆肥樣品與純水以 1：5 混合均勻）則差異很大，一般而言，純樹皮堆肥電導度小 < 1 dS/m，純香菇木屑堆肥的電導度 < 2.8 dS/m，純金針菇木屑堆肥的電導度 < 3.6 dS/m，牛糞堆肥的電導度可高於 3.5 dS/m，純豬糞堆肥的電導度大約為 4.0 dS/m 至 4.5 dS/m，固液分離豬糞堆肥的電導度可低於 2.0 dS/m，在所有種類的堆肥中，電導度，以純雞糞堆肥最高，可高達 11 dS/m 至 13 dS/m。要以電導度的高低來判定堆肥品質的好壞，是沒有意義的事。一般而言電導度低的堆肥，比較適合做為作物的栽培介質使用，電導度高的堆肥則必需先和土壤或其他低電導度的材質（如蛭石與泥炭土等）混合攪拌均勻後，才能當做栽培介質使用。

（三）全氮、全磷及全鉀的含量

大致而言，以農作物殘株或廢棄物為堆積材料所製造出來的堆肥，氮、磷及鉀的含量不高，而純禽畜糞堆肥的養分含量較高。堆肥添加其他化學肥料或材質（例如豆粕粉或肉骨粉等）的有機複合肥料或雜項有機質肥料，其養分含量遠高過於一般堆肥者。

（四）堆肥的顆粒大小及不純物含量（美國標準）

腐熟堆肥，其顆粒粒徑大小的標準，通常規定為小於 25 公釐（mm），不純物質（非有機物）的含量低於 4.0 % 。

結　語

消費者在購買堆肥時，若要知道堆肥的品質，則可以參考上述的資料，來加以判定。但先決條件是堆肥產商應該在每種產品堆肥的包裝袋或廣告說明書上，詳細且誠實的敘述產品的性狀及成分，好讓堆肥消費者來判定所購買堆肥品質的好壞，以選擇符合自己需要的堆肥。

第九章　蔗渣之資源化利用

黃啟民

台灣糖業研究所

一、前言

台糖公司 82/83 年期之甘蔗產量為 502 萬公噸，產糖率為 9.31 % ，生產總糖量為 46.8 萬噸，而以混合汁糖度 14.5 % 計算，蔗汁部份為 323 萬公噸，但其中 70 萬公噸為製糖過程所添加之浸漬水，而夾雜物約為 10 % ，即為 50 萬公噸，則蔗渣量約為 152 萬公噸，大部份蔗渣被作為燃料，以生質能源使用，但公司全年剩餘蔗渣仍達三十萬公噸以上。

以往這些剩餘蔗渣均被送往屏東紙漿廠，作為生產蔗漿的原料，但從民國八十三年度開始，屏東紙漿廠因水權等問題關廠，剩餘蔗渣因而必須另謀出路。利用蔗渣製造食品包裝及免洗衛生餐具等無公害紙容器，或利用蔗渣纖維與各種阻燃材料生產用途廣泛之新型阻燃蔗板及石膏纖維板，此類製造技術已無問題，但成本及銷路仍待評估，未來頗具市場潛力，然而，此法所能消納的蔗渣量有限，故未來剩餘蔗渣之處理，仍以堆肥化製造有機肥為宜。

蔗渣主要成分為木質素及纖維素，不易分解，且其氮磷含量低，需添加其他含氮磷量高之材料，方能加速堆肥化。因此本公司其他廢棄物如豬糞渣、濾泥及酒精廢醪等可用來與蔗渣混合堆積，促進醱酵，又送風、溫度控制及材料之含水量，亦能加速堆

肥化速率，但大量蔗渣有機肥之製造，講求的是經濟效益，故如何善於應用現有堆肥化之技術，製造出低成本之蔗渣有機肥，乃成為本公司當前最重要的課題。

二、蔗渣之成份

蔗渣水分含量變異頗大，新鮮蔗渣含水量可達 46 % ，而堆積場之壓塊蔗渣含水量僅為 11 % ，其主要成分為纖維素，木質素及五碳醣。新鮮蔗渣之有機質量頗高，約佔其乾物重之 90 % ，而有機碳量則為乾物重之 40 % 。但新鮮蔗渣氮含量甚低，僅為乾物重之 0.4 % ，而磷酐及氧化鉀之含量亦低，分別為乾物重之 0.09 % 及 0.25 % 。蔗渣之銅鋅量極低，僅為乾物重之 9 及 29 ppm 。而鎘金屬更檢測不出來。新鮮蔗渣之碳氮比甚高，皆在 100 以上，平均值約在 140 上下。

三、蔗渣之堆肥化

（一）純蔗渣之堆肥化

將蔗渣堆積，需一年半以上方能腐熟，如置於送風堆肥房中處理，則腐熟時間可大幅縮短。其方法為將散裝新鮮蔗渣於模擬送風堆肥房中，送風醱酵，送風量為 0.025 vvm ，其醱酵溫度可達 45 ℃ ，最高可比氣溫高 12 ℃ ，經 8 ～ 12 個月，可醱酵成為黑褐色腐熟之有機肥。蔗渣堆肥化後，碳氮比從 105 降至 21 ，有機質含量亦從 91 % 降至 58 % ；腐熟堆肥之氮、磷及鉀之含量亦因體積減少而濃縮了，分別為 T-N : 1.22 % ， P_2O_5 : 0.25 % ， K_2O : 0.49 % 。

（二）蔗渣與其他廢棄物之混合堆肥化

將蔗渣與糖廠廢棄物如酒精廢醪、濾泥、污泥及豬糞渣等，依 1 : 1 的比例混合，送風醱酵，結果發現，豬糞渣，酒精廢醪及濾泥等確可加速蔗渣之堆肥化，其於 120 公升之模擬送風堆肥房中，溫度已可達 55 ℃ ，而於 14 立方公尺之送風堆肥房中，蔗渣混合豬糞渣之處理，醱酵溫度圖一在 50 ℃ 以上，持續六週之久，且最高溫達 82 ℃ 。經十一週之醱酵，堆積材料之高度已有顯著之變化，蔗渣混合豬糞渣之處理，堆積材料高度從 120 公分降為 50 公分，材料體積約減少 58 % ，材料顏色變為黑褐色，而純蔗渣混合氮磷化肥之處理，堆積材料高度從 120 公分減為 90 公分，其體積約減少了 25 % ，材料顏色則呈灰黃褐色，如此經 4 ～ 5 個月之送風處理，即可製成腐熟之堆肥。各類蔗渣有機肥之化學組成如表一所示，如以有機肥品質而言，蔗豬糞渣有機肥最佳，其次為蔗渣酒精醪有機肥。

四、蔗渣有機肥之經濟製造

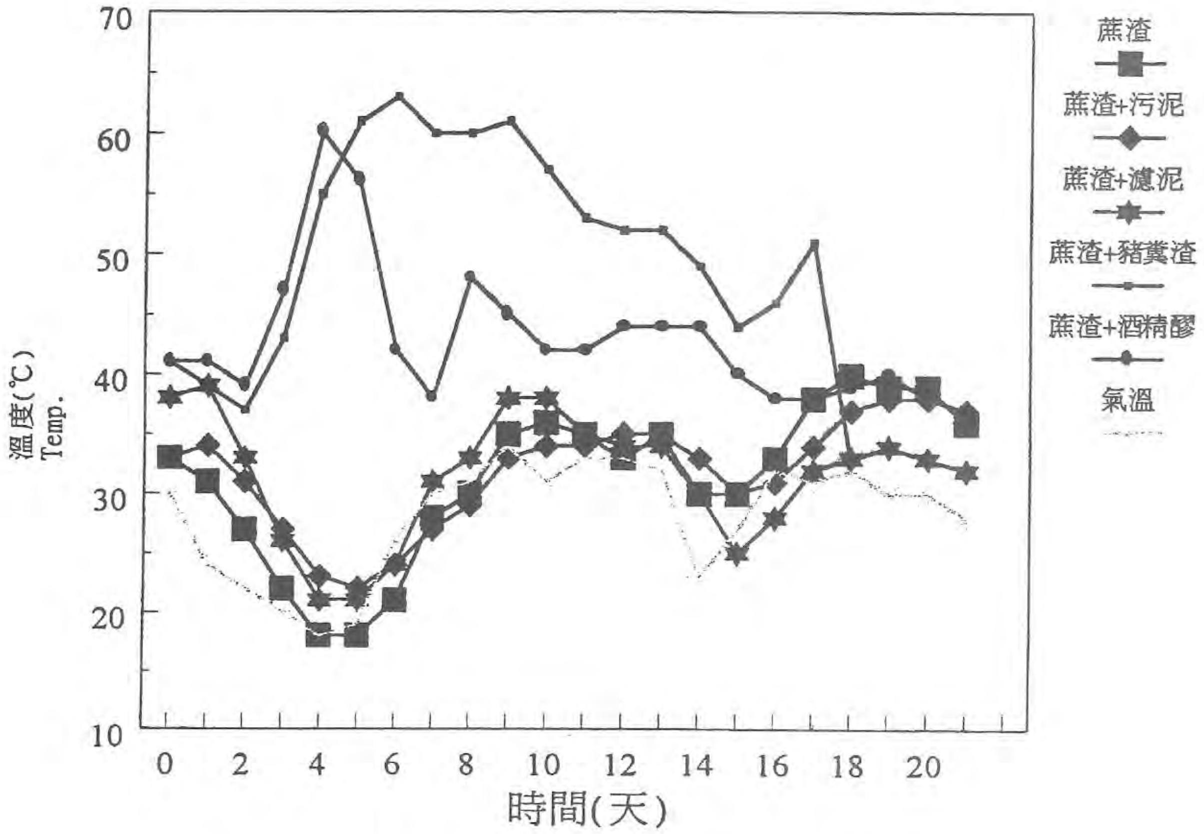
純蔗渣或蔗渣混合豬糞渣、酒精廢醪、污泥或濾泥等，皆可將蔗渣加速製成腐熟之有機肥。但由於蔗渣含多量木質素及纖維素等，分解緩慢，需建造數量龐大之送風堆肥房，方能滿足需求，故其經濟可行性不大。經濟製造蔗渣有機肥之流程如圖二，將新鮮散裝蔗渣堆積於空地上，不定期噴施經兼曝氣二級處理之豬糞尿出流水或酒精廢醪等副產品，經 4 - 6 個月後，即成為半腐熟蔗渣，將此半製品送入堆肥製造房或堆肥製造機中，經送風，翻

堆，及粉碎等處理約一個月，即可得腐熟之蔗渣有機肥，必要時可混合其他有機肥，調製成特定成份之製品，再包裝出售。

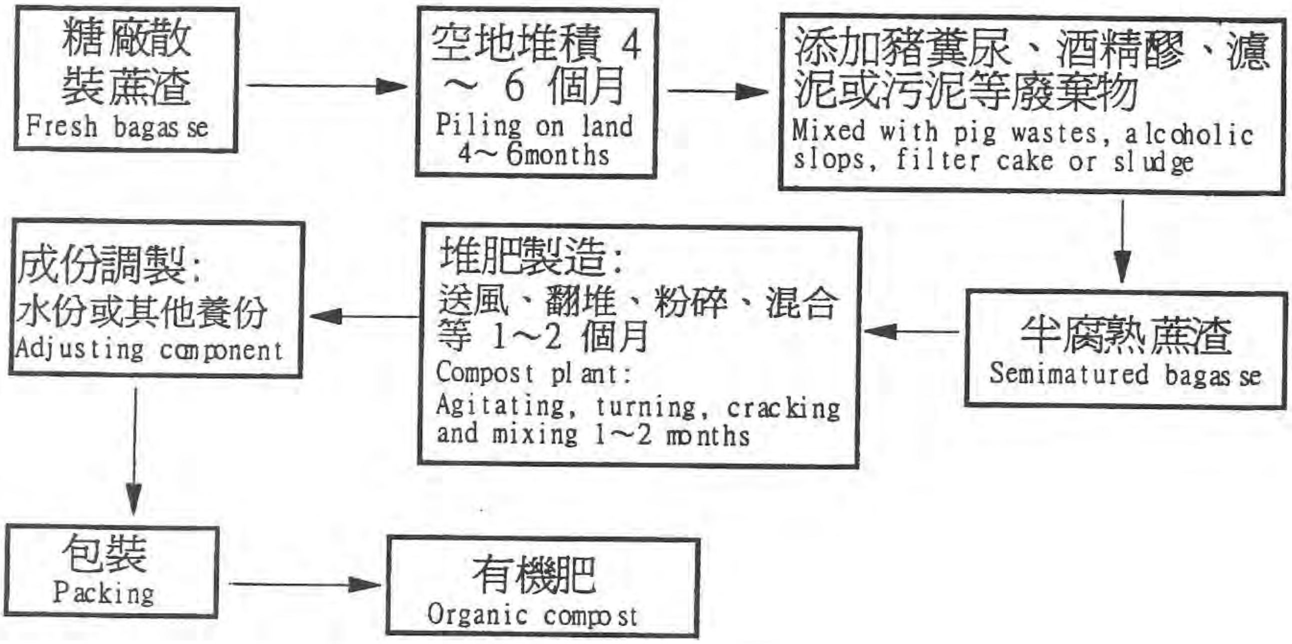
表一、各類蔗渣有機肥之化學組成

成　份	蔗渣	蔗渣污泥	蔗渣濾泥	蔗渣豬糞渣	蔗渣酒精廢醪
含水量 (%)	68	72	34	61	67
有機質 (%)	73	70	27	79	64
有機碳 (%)	33	32	12	36	29
全　氮 (%)	1.08	0.85	1.40	4.7	2.59
磷　酐 (%)	0.21	0.19	1.31	2.6	0.47
氧化鉀 (%)	0.57	0.42	1.19	0.4	4.58
鋅 (ppm)	133	126	227	831	116
銅 (ppm)	13	18	54	258	27
C/N	30	37	9	8	11

註:除含水量外，均以乾物質計算



圖一　各類蔗渣有機肥醱酵溫度變化



圖二、經濟製造蔗渣有機肥之流程

五、蔗渣田間堆肥化

將蔗渣製成有機肥出售，十分理想，但此方式需考慮投資成本，製造時污染問題、堆肥品質及成品之銷售問題，如不想尋找此煩惱，蔗渣田間堆肥化應是最簡單可行的方式。由模擬送風堆肥房及大型送風堆肥房試驗結果可知，將純蔗渣或蔗渣混以豬糞渣，酒精醪或濾泥等，皆可將蔗渣製成腐熟有機肥，但由於蔗渣含大量纖維素及木質素等，分解緩慢，而糖廠開工期間，每天生產之蔗渣量，十分龐大，除充當燃料用外，尚有大量蔗渣節餘，等待處理。如以送風堆肥化的方式處理，除需建造大量送風堆肥房外，時間上，實緩不濟急。較經濟可行的方法，應是"蔗渣田

間堆肥化"，此方法就是將糖廠生產之散裝蔗渣，不經壓塊，立即運送至休閒蔗田犁入土壤後，種植綠肥，如此約一年內，蔗渣可腐熟為有機肥，如欲立刻種植甘蔗等作物，需於基肥及追肥中多補充些氮肥，以彌補因微生物增殖所固定之氮量。施用蔗渣後宜種綠肥，一方面可供應氮素，另方面可作為判斷土壤狀況之指標。蔗渣來自蔗田，再適當地回歸蔗田，以增加土壤有機物，提高土壤肥力，應是最自然且可行之農田利用方式。

六、蔗渣堆肥之利用

以蔗渣有機肥培育木瓜及絲瓜苗，結果發現效果甚佳，與純豬糞渣有機肥培育之木瓜及絲瓜苗相較，並無顯著差異。另外直接施用散裝蔗渣於蔗田，每公頃施用量約為 150 公噸，先種植綠肥（如太陽麻），待太陽麻開花，犁入土中後，種植甘蔗，結果可增產蔗量約為 6 - 12 %。而盆栽試驗結果亦顯示，施用蔗渣確可有效改良土壤之保水性、通氣性，並可有效增加甘蔗之莖高、分蘗數及莖徑。

第十章 菇類木屑堆肥製造技術之開發

簡宣裕[1] 莊作權[2]

行政院農業委員會農業試驗所[1] 國立中興大學土壤環境科學系[2]

摘 要

臺灣一年栽培菇類之後廢棄木屑有 119,250 公噸，其中廢棄香菇木屑量為 54,000 公噸，所佔的比例最大。大部份的菇類栽培期皆集中於秋天至春天之間，在晚春至初夏時菇農將廢棄木屑清出菇舍，故這段時間有大量且集中的廢棄木屑產生。以前菇農對廢棄菇類木屑的處理方式大多採取直接傾倒於窪地、河道或偏避小道的方式或如同燃燒稻草的習慣在空地處加以焚燒，如此不但將寶貴的有機物資源浪費掉，而且造成環境的污染。

食用菇類栽培過程可能夾帶如 *Fusarium* 等雜菌，此些微生物對於作物的生長可能是有害的，故不加以堆肥化就直接施用，會使作物發生病害的機率增加，且廢棄菇類木屑的纖維素、有機碳含量高，雖可資源化再循環利用，但因還含有許多易被微生物利用的有機物，若不加以處理就施用於土壤，則微生物的族群會迅速繁衍，造成與作物競爭養分、作物根部周圍溫度太高及缺乏氧氣而窒息，故廢棄菇類木屑最好先與含氮量高的雞糞混合，以降低碳氮的比例，提供氮源供發酵過程中微生物使用，加速堆肥化，使其性質穩定化後再使用，較為妥當。

將廢棄香菇木屑與雞糞以三種不同比例配方混合後研製堆肥，瞭解堆肥化過程的成分變化，及不同肥培對小白菜生長的影響。結果顯示於發酵過程中，大致三種配方之 pH 與全氮濃度均逐漸增加，電導度先下降然後再上升，有機碳含量、碳氮的比值及氨氣濃度逐漸減少。木屑與雞糞依乾重以 16：4 或 32：4 混合者，氨氣濃度顯著較少，且可在八星期內趨近於穩定腐熟。三種配方堆肥的 pH 值、全氧化鈣濃度及全氧化鎂濃度相近，電導度、全氮濃度、全磷濃度及全鉀濃度，則依配方 A （8：4） > 配方 B （16：4） > 配方 C （32：4） 順序遞減，將堆肥施入土壤，前三天內土壤的微生物菌數最多。盆栽結果獲知配方 A 堆肥最有利於小白菜生長，其次為配方 B 堆肥。盆栽土壤 3 kg 施用 12 g 堆肥，若把堆肥養分（氮、磷及鉀）含量，按 1/5 或 1/2 為有效養分估算，然後以化學肥料補足，相當於每盆施用 0.360 g 有效性氮、 0.215 g 磷酐、 0.288 g 氧化鉀，進行盆栽，小白菜產量皆比只施用化學肥料者高，且達顯著差異水準。

一、菇類廢棄太空包木屑須經發酵過程製成堆肥之原因

（一）廢棄菇類木屑數量與以往處理方式

台灣地區每年有機質廢棄物數量，據估計為果菜市場廢棄物 704,304 公噸、農產廢棄物 6,208,418 公噸、家禽排泄物 5,095,078 公噸、家畜排泄物 8,533,558 公噸、漁產廢棄物 270,186 公噸，合計 20,811,544 公噸 （楊，1991） 。農產廢棄物雖然比家畜排泄物略為少量，但比家禽排泄物量多，佔年有機質廢質物數量的 30 ％ 左右。食用菇廢棄太空包木屑，是屬於農產廢棄物之一部

份。依據調查資料，台灣一年食用菇太空包栽培數量，香菇 12,000 萬包、木耳 9,000 萬包、鮑魚菇 500 萬包、金針菇 5,000 萬瓶。一年栽培香菇、木耳、鮑魚菇、金針菇廢棄鋸木屑量分別為 54,000 公噸、 40,500 公噸、 2,250 公噸、 22,500 公噸，合計有 119,250 公噸菇類栽培廢棄木屑產生。菇類栽培與氣候、溫度有密切的關係，大部份的菇類栽培期間皆集中於秋天至春天之間，晚春至初夏這段時間菇農清理、整頓菇舍，將培養過食用菇之廢棄太空包木屑清出菇舍。目前一般菇農對廢棄太空包木屑的處理方式：

1. 直接傾倒於窪地、河道或偏僻小道。
2. 如同燃燒稻草的習慣在空地處加以燃燒，將寶貴的有機物資源浪費掉，而且造成空氣污染。
3. 整包廢棄太空包木屑直接埋置於果園表面。
4. 經過醱酵腐熟過程製成堆肥。

（二）栽培菇類之後廢棄太空包木屑的營養成分

早期 （50 年至 60 年代） 本省養菇事業發達以洋菇栽培製罐為主，但現今香菇、木耳、金針菇、鮑魚菇的栽培比洋菇較普遍，成為主要的食用菇栽培種類。栽培洋菇之堆肥材料配方，主要以稻草為主，然後添加化學氮源、磷源等營養成分為輔 （表一） ，材料先堆積 4 星期後製成洋菇堆肥，然後上洋菇床，經下種、出菇及採收過程，整個採收期間大約 2 個月至 3 個月。栽培香菇、木耳、金針菇的太空包材料配

方，以木屑為主成分，然後添加米糠、豆粉頭、碳酸鈣為輔助成分，每個太空包重量 1 公斤至 1.1 公斤，水分 70 % 至 75 % （表二） 。香菇、木耳與鮑魚菇栽培及採收期較長，大約 4 個月至 6 個月，而金針菇之栽培與採收期為 2 個月左右。表三是食用菇栽培材料營養成分，鉀含量比磷與氮含量為高。表四為栽培食用菇後廢棄材料 （木屑） 之營養成分，鉀、磷含量皆比栽培食用菇前之含量顯著減少，氮含量提高 （洋菇除外） ，另含有相當量之營養成分，尤其是鈣與鎂的含量非常豐富。

表一、栽培洋菇之材料配方

材料	用量
	--------- 公斤 ---------
稻草	100
消石灰	2
硫酸銨	2
尿素	0.5
過磷酸鈣	3

表二、栽培食用菇之材料配方

材料	木耳	香菇	金針菇
	---------- 用	量 (公	斤) ----------
木屑	100	100	100
米糠	4	6	20
豆粉	3	1	5
過磷酸鈣	0	0	0.5
碳酸鈣	1	0.5	1

表三、食用菇栽培材料養分

菇類	氮	磷	鉀
	----------	%	----------
洋菇	1.30	0.32	1.4
木耳	0.29	0.87	3.2
香菇	0.23	0.90	3.3
金針菇	0.51	0.99	3.0

表四、廢棄菇類木屑養分

菇類	氮	磷	鉀	鈣	鎂
	----------	----------	%	----------	----------
洋菇	0.88	0.23	0.17	2.92	0.40
木耳	0.78	0.30	0.07	3.54	0.25
香菇	0.86	0.39	0.08	2.69	0.28
金針菇	0.95	0.90	1.00	0.62	0.56

（三）為何須要經過發酵過程製成堆肥

如果能夠將這些廢棄菇類木屑，以適當方法施用於農田、耕地土壤，據估計每年大約有 415 公噸氮、219 公噸磷、 157 公噸鉀、 1,164 公噸鈣、 177 公噸鎂可以增加土壤的肥力。然而，將廢棄太空包木屑直接施入土壤時，則可能會造成對作物的影響：

1. 使作物病害、蟲害發生的機率增加，因為食用菇類就是一種對纖維素、木質素分解能力很強的菌株，且栽培過程可能夾帶雜菌如 *Fusarium* sp、 *Coprinus* sp 等。在中耕、培土時難免有些作物的根系會被農業機械刮

傷，而使得對作物有害之菌株有侵入植物體的途徑，引起作物病害、蟲害發生的機率增加。

2. 菇類菌株繼續生長與作物競爭養分，使得作物根部周圍溫度太高及缺乏氧氣而窒息。

廢棄菇類木屑若經過堆肥化過程而使性質穩定化，有下列之好處：

1. 減少有機物質中之有害成分，例如酚 (phenol)、氯化酚 (chlorophenol)、有機酸 (organic acid) 等。
2. 堆肥化過程中溫度達到攝氏 70 度以上，可以將病菌、蟲卵加以殺滅。
3. 避免有機物質直接施入，造成作物根部局部高溫、缺氧。金針菇廢棄木屑經過堆肥化過程，再施用於蔬菜田土壤中，可以增加土壤肥力、增進蔬菜（甘藍、蘿蔔、花椰菜、結頭菜）的產量及縮短生育期所需要的時間。

由目前的試驗資料知道金針菇廢棄木屑，若直接施入土壤中則可能造成蔬菜生長不利、病害的產生。香菇、木耳、鮑魚菇的廢棄太空包木屑直接施用是否對作物有不良影響，則缺乏試驗資料的佐證，需要進行試驗工作之後，才能加以評估直接施用的可行性。不過為了保險起見，此些廢棄太空包木屑還是經過堆肥化過程製成土壤堆肥，使其完全穩定化然後施入農田、耕地土中，才能絕對保證不會對作物造成傷害。

二、 廢棄香菇木屑堆肥製造及對小白菜之肥效之開發

(一) 廢棄香菇木屑堆肥堆肥化過程之成分

有三種材料配方，即配方 A ： 木屑添加雞糞 (8：4, w/w) ，配方 B ： 木屑添加雞糞 (16：4) ，配方 C ： 木屑添加雞糞 (32：4) ，木屑主要來自桉樹等闊葉樹種。每配方堆積量為 6 公尺 (長) x 5 公尺 (寬) x 1.5 公尺 (高) ，水分含量調為 60 ％ 左右，堆積處底下有通風管送風，送風量為 10 公升/分鐘 · 每立方公尺，每隔 25 分鐘送風 5 分鐘，每星期用鏟裝機翻堆一次。

堆肥化過程中，堆肥材料的 pH 隨時間而增加，四星期後三種配方的 pH 皆高於 8.0 ，其後酸鹼度漸趨於穩定而相近 （圖一） ，廢棄香菇木屑在堆肥化過程 pH 上升，與三種配方皆添加氮及鈣含量高的雞糞（表五） 有關，前四星期，有機氮經由旺盛的脫氨作用 （deamination） 釋出大量氨氣，造成鹼性的劇增，且雞糞中鈣含量高亦有利鹼性的形成， pH 因而上升，配方 A 之 pH 高於配方 B 及配方 C ，是配方 A 添加較多量雞糞所致。三種配方的電導度皆先下降，至第六星期之後才有再上升的趨勢 （圖二） ，電導度先下降然後再上升的現象，原因可能是剛開始堆肥化時，堆肥材料中含有較多的無機養分，故電導度較高，但隨著堆肥化過程的進行，無機養分被微生物吸收利用而濃度

逐漸減少，電導度相對的逐漸下降，微生物繁衍至某一階段後薞群數會減少部份菌體死亡分解後釋出無機養分，又堆積材料之水分隨時間逐漸減少，故此時無機養分測值的濃度與鹽類濃度提高，使電導度測值上升，三種配方處理隨著木屑與雞糞混合比例的增加而電導度減小，此與木屑使用量增加，雞糞比例減少，造成雞糞的稀釋作用有關，配方 A 與配方 B 所製造出來的堆肥，電導度皆超過 4.0 dS/cm，故在施用時需要考慮堆肥使用量的限制，以避免過度施用，造成鹽害，反而不利作物生長。有機碳含量隨時間增加而減少，配方 A 的有機碳含量在前四星期內變化大，配方 B 與配方 C 則至第八星期時才有較大的變化（圖三）。配方 A 的有機碳含量減少速度遠比配方 B 與配方 C 快，此與配方 A 添加較多量雞糞有關，雞糞所含之有機碳較容易被微生物當做碳源，有利於菌株族群的繁衍，故有機碳被分解的速度會較快。總體而言三種配方處理的全氮濃度，依雞糞與木屑混合比例愈大，則濃度愈高，且隨著時間而升高（圖四），全氮濃度在堆積材料進行發酵後，第三天時減少，至第七天時才回復接近原來濃度，然後隨著時間而增高，此現象是發酵初期氨氣的揮發過快，而使全氮的濃度暫時下降，三種配方處理在發酵過程中，皆有氨氣揮發損失（圖五），但是堆積材料中有機物被分解、代謝掉的速度可能遠超過氮的揮發損失，故全氮濃度有逐漸上升的趨勢。有機碳與全氮的比值，隨時間而減少，配方 A 者在四星期內迅速減少，

配方 B 、配方 C 在八星期內變化較大，然後趨向於平穩 （圖六） 。

（二）三種配方堆肥對小白菜生長之影響

三種配方堆肥 （成分如表六） ，各有四種施肥處理，處理 I ： 3 kg 盆栽土壤施用 12 kg 堆肥，將堆肥養分含量按 1/5 為有效養分估算，然後以化學肥料補足。施肥處理 II ： 3 kg 盆栽土壤施用 12 kg 堆肥，將堆肥養分含量按 1/2 為有效養分估算，然後以化學肥料補足。施肥處理 III ： 3 kg 盆栽土壤施用 12 kg 堆肥。施肥處理 IV ： 3 kg 盆栽土壤施用化學肥料。處理 I 、處理 II 及處理 IV 均相當於每盆施用 0.360 g 氮、 0.215 g 磷酐、 0.288 g 氧化鉀。化學肥料採用尿素、過磷酸鈣及氯化鉀。

盆栽小白菜的重量，以配方 A 堆肥者比配方 B 堆肥者及配方 C 堆肥者為重，此與配方 A 堆肥所含的養分濃度高於配方 B 堆肥、配方 C 堆肥有關 （表七） 。若將三種配方堆肥養分（氮、磷、鉀）含量，按 1/2 或 1/5 為有效養分估算，然後以化學肥料補足，相當於每盆施用 0.360 g 有效性氮、 0.215 g 磷酐、 0.288 g 氧化鉀（相當於每公頃施用 300 kg 有效性氮、 179 kg 磷酐、 240 kg 氧化鉀），則盆栽小白菜鮮重皆分別比只施用化學肥料為重，小白菜乾重亦有相同的趨勢 （表七） ，此與於生長期間堆肥可供小白菜吸收利用的有效養分量，遠大於全養分量的 1/2 ，及木屑堆肥具有膨鬆性質，可

以增進土壤通氣性、保水能力及生物活性，因而促進土壤的生產力有關。

只施化學肥料處理（施肥處理 IV）的小白菜氮與鉀濃度，遠高於只施堆肥處理者（施肥處理 III），且可達二倍之多（表八與表十），只施堆肥處理小白菜的氮濃度與鉀濃度，處於氮及鉀缺乏範圍（deficiency range），此時氮及鉀成為小白菜生長的限制因子（limiting factor），小白菜的生理機能因氮、鉀要素不足而無法順利進行，而影響作物的生長。小白菜磷的濃度，施堆肥料處理者皆高於只施肥化學料處理者（表九），但只施堆肥處理的小白菜株重卻顯著小於只施化學肥料處理者，顯示磷的效應不顯著，含量均已達豐富範圍，而氮與鉀之效應非常明顯，成為影響之重要因子（表七、表八、表十）。施肥處理 I 與施肥處理 II 小白菜的氮濃度與鉀濃度顯著高於只施堆肥處理者，而施肥處理 I 、施肥處理 II 小白菜的磷濃度低於只施堆肥處理者，但施肥處理 I 、施肥處理 II 小白菜的氮濃度、磷濃度及鉀濃度皆和只施化學肥料處理者的植體養分濃度接近（表八、表九及表十），且小白菜的株重以施肥處理 I ＞ 施肥處理 II ＞ 只施化學肥料處理 ＞ 只施堆肥處理（表七），顯示施肥處理 I 、施肥處理 II 小白菜的氮、磷及鉀濃度已達到適合小白菜生理機能需要的正常濃度。

三、結論與建議

由上述試驗的結果，可以大致推斷廢棄香菇木屑和雞糞

以 8：4 相互混合，在發酵條件良好情況下，可望在四星期後達到穩定，而趨於腐熟。適量氮源的添加對於加速廢棄菇類木屑的堆肥化是必要的，若氮源添加量不足或不添加氮源，則堆肥化所需要的時間會較長，至少要八星期。氨氣濃度於前六星期內較高，於堆肥化過程中，廢棄香菇木屑與雞糞以 16：4 或 32：4 比例混合比以 8：4 比例混合者，能顯著減少氨氣的生，此與木屑添加量愈多，愈能吸收愈多氨氣有關。

施肥處理 I 、施肥處理 II 及只施化學肥料處理的小白菜植體氮濃度：磷濃度：鉀濃度為 10 至 12：1：16 至 19 ，而只施堆肥處理的小白菜植體氮濃度：磷濃度：鉀濃度為 4 至 5：1：11 （表八、表九、表十），顯然只施堆肥處理的小白菜植體氮濃度與鉀濃度比例偏低，又由表六的資料知道三種配方堆肥的氮濃度：磷濃度：鉀濃度都接近 1.3：1：1 ，比起適合一般蔬菜生長的氮濃度；磷濃度：鉀濃度為 5 至 6：1：6 至 8 來講，堆肥磷濃度的比例偏高，而氮濃度與鉀濃度的比例偏低。故三種配方堆肥若能配合化學氮肥及鉀肥的施用，顯然可增進小白菜氮與鉀的吸收量，而有利於小白菜養分的平衡，使小白菜的產量增加，但加施化學磷肥對小白菜磷的吸收，及促進小白菜的生長，則效益比較少。

表五、廢棄香菇木屑及雞糞的養分濃度

配方	PH	電導度	全氮	磷酐	氧化鉀	氧化鈣	氧化鎂	有機碳
		dS/m	-------------------------			%	-------------------------	
雞糞	8.7	11.4	2.80	4.20	4.37	20.3	0.22	34.4
木屑	5.6	2.8	1.25	1.62	0.76	2.98	0.08	44.6

表六、廢棄香菇木屑堆肥的養分濃度

配方	PH	電導度	全氮	磷酐	氧化鉀	氧化鈣	氧化鎂	有機碳
		dS/m	-------------------------			%	-------------------------	
A	8.6a†	4.6a	2.46a	4.33a	2.26a	9.63a	0.17a	28.0b
B	8.6a	4.1a	2.37a	4.19a	2.23a	9.12ab	0.16a	28.2b
C	8.3a	3.4b	2.25b	3.99b	2.18a	8.70b	0.15a	30.7a

†：同行數字若英文字母相同則差異不顯著

(P>0.05, Duncan's test)

表七、三種配方堆肥配合化學肥料施用對小白菜株重的影響（公克/株）

施肥處理	配方 A 堆肥		配方 B 堆肥		配方 C 堆肥	
	鮮重	乾重	鮮重	乾重	鮮重	乾重
I	63.7a	3.9a	63.8a	3.9a	66.9a	3.9a
II	57.4a	3.5a	60.0a	3.6a	60.8b	3.5b
III	26.5c	1.7c	18.1c	1.3c	15.1d	1.7d
IV	35.6b	2.5b	35.6b	2.5b	35.6c	2.5c

表八、三種配方堆肥配合化學肥料施用對小白菜氮濃度的影響

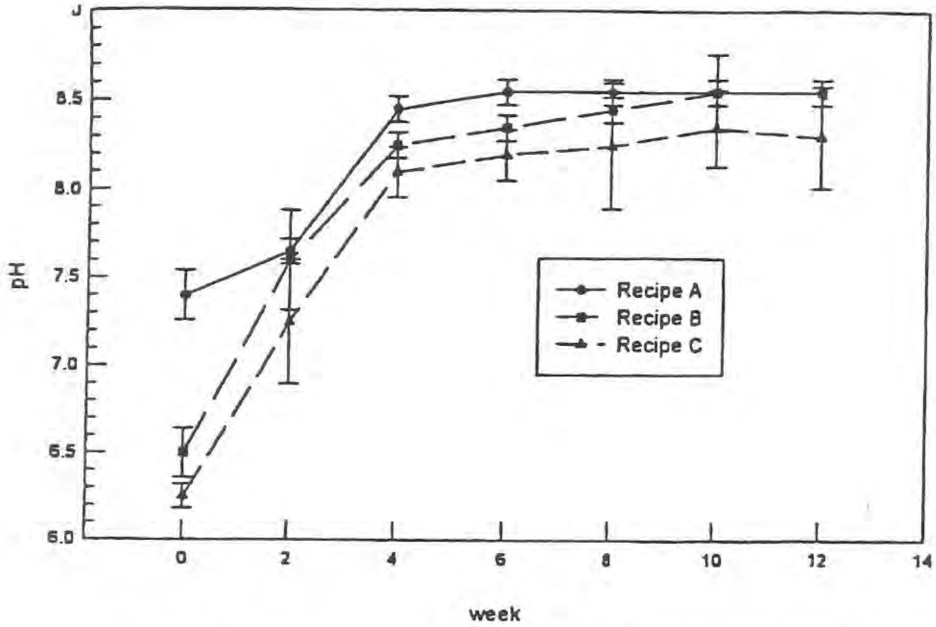
施肥處理	配方 A 堆肥	配方 B 堆肥	配方 C 堆肥
		N (%)	
I	4.9ab	5.0a	5.2a
II	4.5b	4.9a	4.9a
III	2.9c	2.6b	2.3b
IV	5.1a	5.2a	5.1a

表九、三種配方堆肥配合化學肥料施用對小白菜磷濃度的影響

施肥處理	配方 A 堆肥	配方 B 堆肥	配方 C 堆肥
		P (%)	
I	0.49b	0.46b	0.50b
II	0.46b	0.45b	0.47b
III	0.59a	0.59a	0.57a
IV	0.42c	0.42c	0.41c

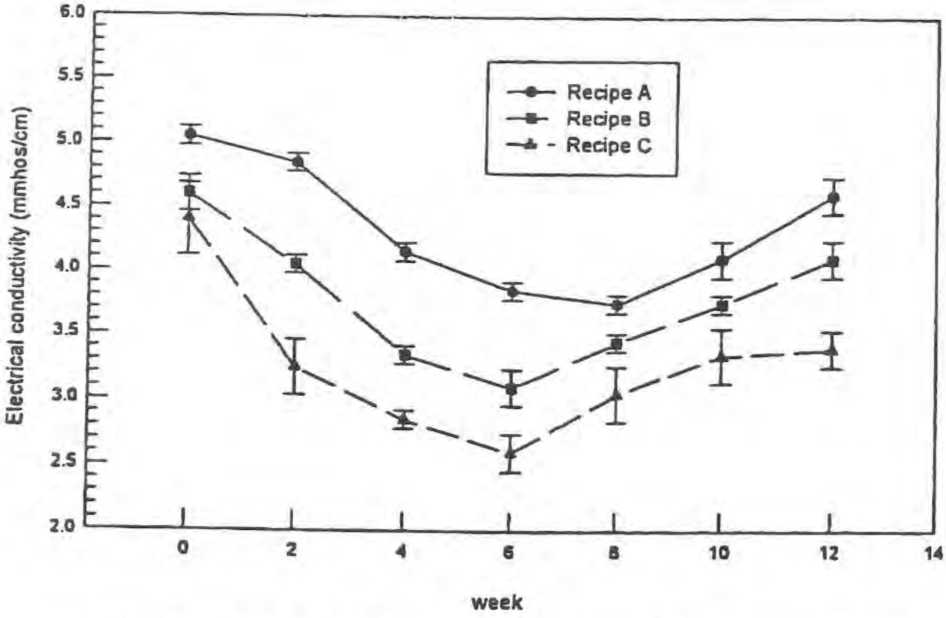
表十、三種配方堆肥配合化學肥料施用對小白菜鉀濃度的影響

施肥處理	配方 A 堆肥	配方 B 堆肥	配方 C 堆肥
		K (%)	
I	7.8a	5.0a	5.2a
II	7.7a	4.9a	4.9a
III	6.4b	2.6b	2.3b
IV	7.6a	5.2a	5.1a



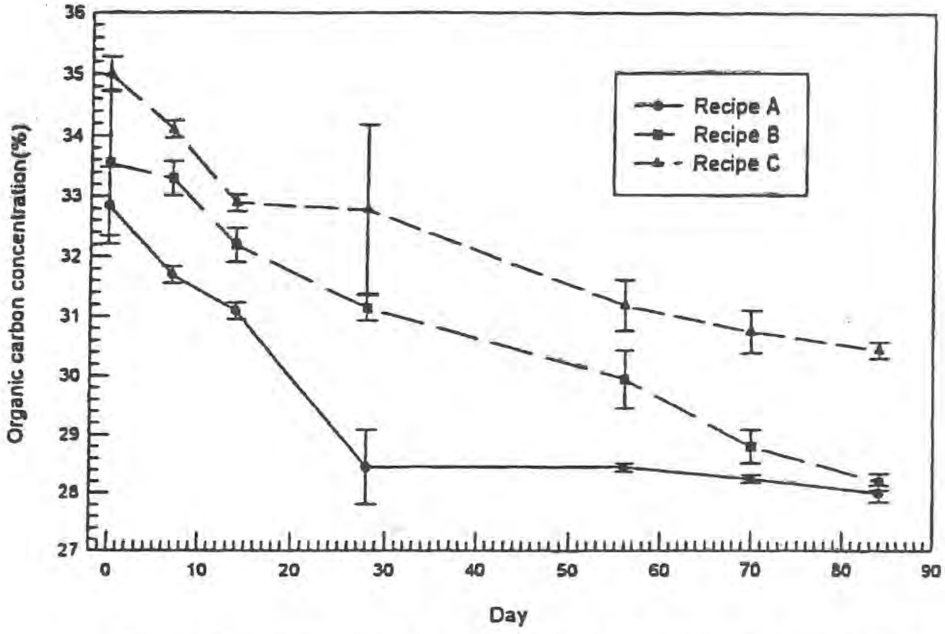
Recipe A: sawdust+chicken feces(8:4). Recipe B: sawdust+chicken feces(16:4).
Recipe C: sawdust+chicken feces(32:4).

圖一、廢棄香菇木屑於堆肥化過程中 pH 的變化



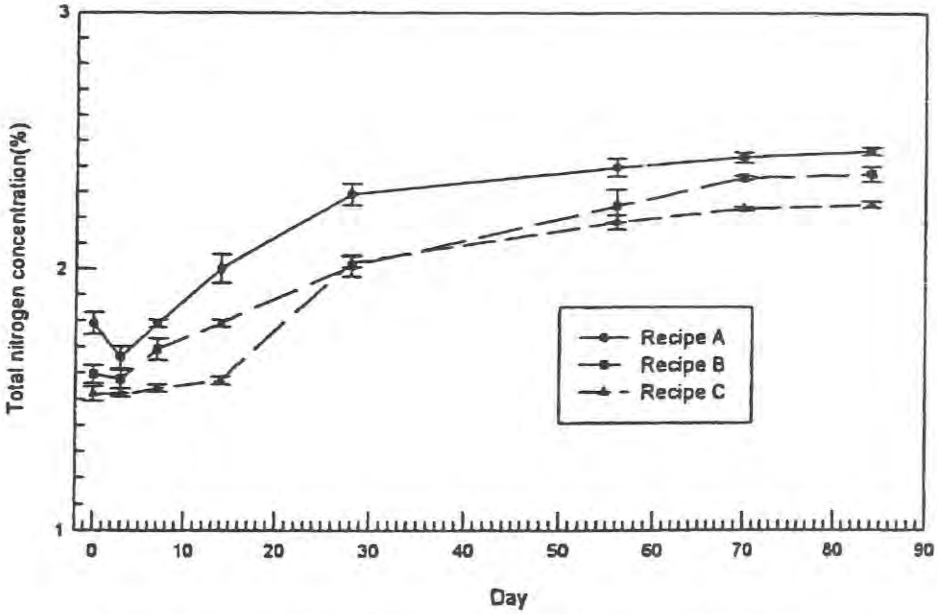
Recipe A: sawdust+chicken feces(8:4). Recipe B: sawdust+chicken feces(16:4).
Recipe C: sawdust+chicken feces(32:4).

圖二、廢棄香菇木屑於堆肥化過程中電導度的變化



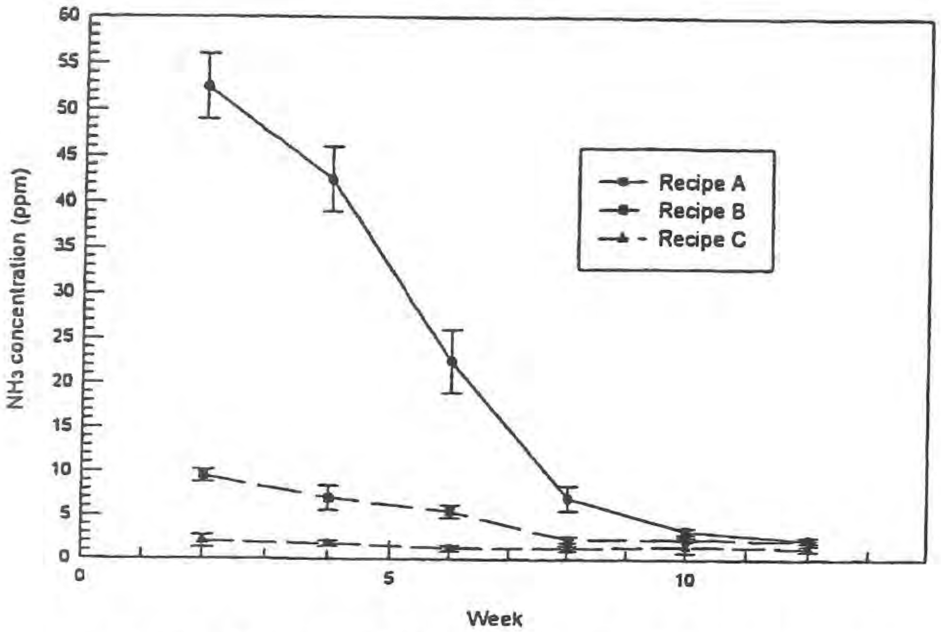
Recipe A: sawdust+chicken feces(8:4). Recipe B: sawdust+chicken feces(16:4).
Recipe C: sawdust+chicken feces(32:4).

圖三、廢棄香菇木屑於堆肥化過程中有機碳濃度的變化



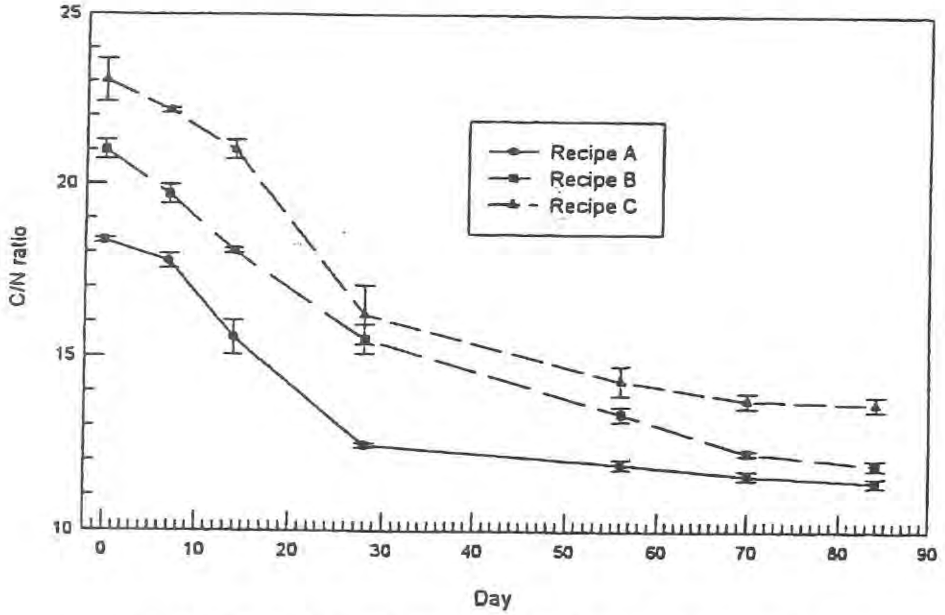
Recipe A:sawdust+chicken feces(8:4). Recipe B:sawdust+chicken feces(16:4).
Recipe C:sawdust+chicken feces(32:4).

圖四、廢棄香菇木屑於堆肥化過程中全氮濃度的變化



Recipe A: sawdust+chicken feces(8:4). Recipe B: sawdust+chicken feces(16:4).
Recipe C: sawdust+chicken feces(32:4).

圖五、廢棄香菇木屑於堆肥化過程中氨氣濃度的變化



Recipe A: sawdust+chicken feces(8:4). Recipe B: sawdust+chicken feces(16:4).
Recipe C: sawdust+chicken feces(32:4).

圖六、廢棄香菇木屑於堆肥化過程中碳氮比值的變化

第十一章 禽畜糞堆肥之製造

林財旺

行政院農業委員會畜產試驗所

摘要

禽畜糞含有多量的有機質約 68 ～ 90 % 及氮、磷等污染物。豬每頭每天排糞量為 1.9 kg ，含氮 19 g ，磷 13.3 g ；牛每頭每天排糞量為 30 kg ，含氮 129 g ，磷 51 g ；雞每隻每天排糞量有 0.14 kg ，含氮 1.9 g ，磷 0.78 g 。由此資料顯示禽畜糞確有高濃度的污染源，但其所含物質卻是植物所需的養分，而禽畜糞製作堆肥是同時解決上述二項問題的最佳方法。

國內從事養豬、牛、羊、雞等畜牧經營業者，一年約產生 1,437 萬噸禽畜糞，為了防止或改善環境污染，將禽畜糞便製作堆肥；另糧食作物、果樹、蔬菜、花卉等農業經營業者，約有 87 萬公頃之耕地，也正為了改良土壤、增加生產力及提高產品品質，需用良質堆肥；因此優良堆肥產品，對畜牧和農業經營者都具有相當的重要性，其製作技術必須充分了解，在此本人願就堆肥製作之技術，包括製作材料、流程、條件控制、處理方式、肥料成分、腐熟度之判定、堆肥場脫臭方法及營運狀況等等，提出報告供農友參考。

一、台灣主要禽畜糞產量

1996 年台灣主要畜禽糞年產量，乳牛 1,367,000 噸，肉牛 145,400 噸，乳羊 34,800 噸，鹿 12,200 噸，豬 7,488,800 噸，蛋雞 1,635,800 噸，肉雞 3,687,700 噸，總共有 14,372,000 噸，如表一，而其中牛、羊、鹿等草食動物之排糞量有 1,560,000 噸佔 10.9 %，豬有 7,488,800 噸佔 52.1 %，雞有 5,323,500 噸佔 37.0 %。

堆肥製作，前處理需調整碳氮比、含水率，故需混合稻穀、木屑、廢棄菇類的木屑及蔗渣等；禽畜糞混合這些農產廢棄物一年約 2,009,000 噸合計 16,381,000 噸，製成堆肥其製成率以 35 % 計算年產堆肥 5,733,000 噸，全省現有耕地 87 萬公頃，每公頃將可利用堆肥 6.6 噸，成為國土、農地寶貴資源，希能善加生產及利用。

二、優良禽畜糞堆肥條件及規格

新鮮（生的）禽畜糞為優良有機質肥料之資材，但其有污染環境，產生臭味、蚊蠅、傳染病原菌、寄生蟲、雜草種子及骯髒不衛生等缺失外，對農作物生長發育產生危害，如將其製成堆肥後施用於農地可改善上述諸多缺失，達成改良土壤、增進地力並提供植物所需之養分。而優良品質禽畜糞堆肥之產品是農民需求的，其成品需達到良質堆肥之條件如表二外，肥料成分、有害成分及其他規定均需符合政府所規定之有機質肥料之規格如表三。

表一、台灣主要禽畜糞產量 (1996)

畜別	頭數	每頭每天排糞量(公斤)	每頭一年排糞量(噸)	一年總排糞量(噸)	百分比(%)
草食動物					10.9
乳牛	125,471	30	10.9	1,367,600	
肉牛	26,430	15	5.5	145,400	
乳羊	119,046	0.8	0.292	34,800	
鹿	22,637	1.5	0.54	12,200	
豬	10,698,366	1.9	0.7	7,488,800	52.1
雞					37.0
蛋雞	32,074,000	0.14	0.051	1,635,800	
肉雞	78,461,000	0.13	0.047	3,687,700	
合　計				14,372,000	100

表二、良質與劣質堆肥條件

良質堆肥	劣質堆肥
1. 方便於運搬施用	
(1) 乾濕適當（約 35%）	(1) 含水率過高或過低
(2) 無臭味及無污穢感	(2) 有臭味及骯髒感
(3) 符合良好衛生條件	(3) 不衛生
2. 對植物、土壤具安全性	
(1) 有機質已穩定	(1) 有機質分解尚未穩定
(2) 碳氮比例低於 20 以下，不會產生氮固定化作用	(2) 碳氮比例高於 20 以上
(3) 無含毒性物質及有害成分	(3) 尚含毒性物質及有害成分
3. 對植物生長及土壤有改良效果	
(1) 肥料成分含量高	(1) 肥料成分含量低
(2) 有改良土壤理化性狀及生物相之效果	(2) 無改良效果

表三、有機質肥料之規格

品名	保證成分（低限%）				有害成分(高限%)		其它規定事項
	機質質	全氮	全磷酐	全氧化鉀	銅	鋅	
一般堆肥	60	0.6	0.3	0.3	0.01	0.08	1. 有機質材料發酵腐熟未加入化學肥料。 2. 水分 35 % 以下，蔗渣製成者 40 % 以下。 3. 若加化學肥料，則以雜項有機質肥料登記。
蛋雞糞堆肥	40	2.0	2.0	1.0	0.01	0.08	1. 蛋雞糞發酵，未加入化學肥料。 2. 水分 35 % 以下。
雜項有機質肥料	40	0.3	0.3	0.2	0.01	0.08	1.氮、酐磷及氧化鉀含量屬複合肥料範圍 (15 %) 肥料者不得在本品目登記。 2. 不列入政府補助推廣

肥料品目及規格表（行政院 86 年 2 月 3 日公告修正）
(有機質肥料類摘錄）

三、堆肥製作

（一）原料

有機廢棄物如動物排泄物及農產副產物均可供為堆肥製作原料，但近年來從經濟成本、節省勞力、工時等因素考量，由飼料或下腳料供為原料也不少，一般較常用的材料如下：

- 禽畜糞：豬糞、牛糞、雞糞、羊糞、免糞、鴨糞等均含有豐富 的有機質及氮、磷、鉀等肥料成分，為製造堆肥良好的原料。
- 污泥：畜產業廢水處理場所產生的污泥，含有很多的有機質、氮、磷、鉀等，但其含水率高達 90 % ，且含膠羽菌體，脫水性差，須先行

脫水處理，降低含水率，再混合農產廢棄物如稻殼、木屑，蔗渣等製作堆肥。

- 農產副產物：常用的有稻殼、木屑、菇類木屑、花生殼、甘蔗渣等除可調整適當的水分外並可增加表面積孔隙率改善通氣性，促進好氣微生物的作用，其成分中含碳量很多，碳氮比高約為 57 – 298 ，不宜直接施作肥料。上列原料經分析成分如表四。

表四、幾種堆肥原料成分（水分與pH外均以乾基計算）

種類	PH	水分	有機質	有機碳	總氮	磷	鉀	碳氮比
牛糞	9.0	69.6	68.0	30.6	2.1	2.1	2.9	15
豬糞	8.1	68.8	78.4	35.3	2.5	5.1	1.6	14
雞糞	7.2	68.7	68.4	30.8	4.1	7.9	3.5	8
羊糞	8.0	68.5	80.6	36.3	2.3	2.3	2.4	16
兔糞	7.2	73.3	89.8	40.4	3.0	2.5	1.4	14
豬廢水場污泥	8.1	89.3	49.5	22.3	3.1	9.2	0.5	7
稻殼	6.3	12.1	86.7	39.0	0.5	0.2	0.43	70
木屑	6.6	15.9	99.3	44.7	0.15	0.02	0.26	298
菇類木屑	7.5	46.6	71.0	40.0	0.7	0.13	0.6	57
甘蔗渣		42.0	91.0	41.0	0.39	0.09	0.25	105

（二）製作流程

一般堆肥製造流程，包括發酵前處理，發酵處理、二次發酵(後熟發酵)及篩選、裝袋等階段，說明如下：

1. 發酵前處理

(1) 調整含水率

水分是微生物增殖必要的條件，如果水分含量低於 30 % 以下，微生物的增殖即被抑制。相反的如果水分含量高於 70 % 以上，空隙率低空氣不足，嚴重時反成為厭氣醱酵狀況，堆肥醱酵停止。堆肥醱酵最適當的含水率是 60 ～ 65 %，水分調整的方法常用的有四種：

A. 添加稻殼、木屑、甘蔗渣等農產副產物。

B. 機械脫水。

C. 塑膠乾燥房乾燥。

D. 添加已醱酵堆肥。

(2) 調整碳氮比例

堆肥醱酵時有機物由微生物分解，而微生物增殖活動的能源是營養分中的碳 (C) 供給，而細胞的形成由氮 (N) 供給，而兩者間最適當的碳氮比例是 20：1。家畜種類的不同糞中所含的碳氮比不一，牛糞為 15 ～ 23，豬糞為 10 ～ 14，雞糞為 8 ～ 10，而土壤的碳氮比為 10 ～ 15，所以堆肥化處理時牛糞可不必另外調整其碳氮比，而豬、雞糞應適當調整，而調整材料以高碳氮比含量之稻殼 70：1，菇類廢棄木屑 57：1 及木屑 298：1 等較常用。

(3) 調整 pH

分解堆肥的微生物喜好微鹼性，即 pH 7.0 ～ 8.0 ，一般禽畜糞製作堆肥不必調整 pH ，但貯存時間久而 pH 降低時可用石灰調整。

(4) 混合均勻

利用混合攪拌機或鏟裝機將各種原料混合均勻，期能達到各個區域之發酵一致。

2. 發酵處理

(1) 優良發酵條件控制

堆肥發酵必需控制的條件有養分、微生物、氧氣、水分、溫度及時間等六項，其堆肥發酵條件及過程如圖一、，由於有機質分解穩定化，原料 1,000 公斤約僅可生產堆肥 404 kg 。說明如下：

A. 養分：禽畜糞含有豐富的蛋白質、醣類、纖微素、木質素、礦物質等養分，是堆肥化過程微生物生長、繁殖所需的物質。其中須控制碳氮比例，兩者較適當的比例為 20：1 。

B. 微生物：堆肥發酵有關微生物在禽畜糞有很多，主要包括細菌、絲狀菌及放線菌三大類，一般開始時由中溫性細菌、絲狀菌先分解醣類、蛋白質後產生高溫，其次再由好熱性細菌、絲狀菌、放線菌等高密度生育、分解，之後再經中溫性微生物繼續

分解階段而腐熟。通常製作堆肥時混合少部分發酵堆肥，除可提供微生物外並同時調整含水率。堆肥發酵微生物、溫度及分解物質之關係如圖二、。

C. 空氣：堆肥化過程，有機物分解係屬於好氣性微生物，因此需有充足的氧氣供給，可藉機械翻堆及送風供給之。送風空氣量每分鐘每噸 200 公升，但發酵槽型式、材料及含水率不同其通氣量有差別，如表五。

表五、禽畜糞堆肥發酵通氣推薦量

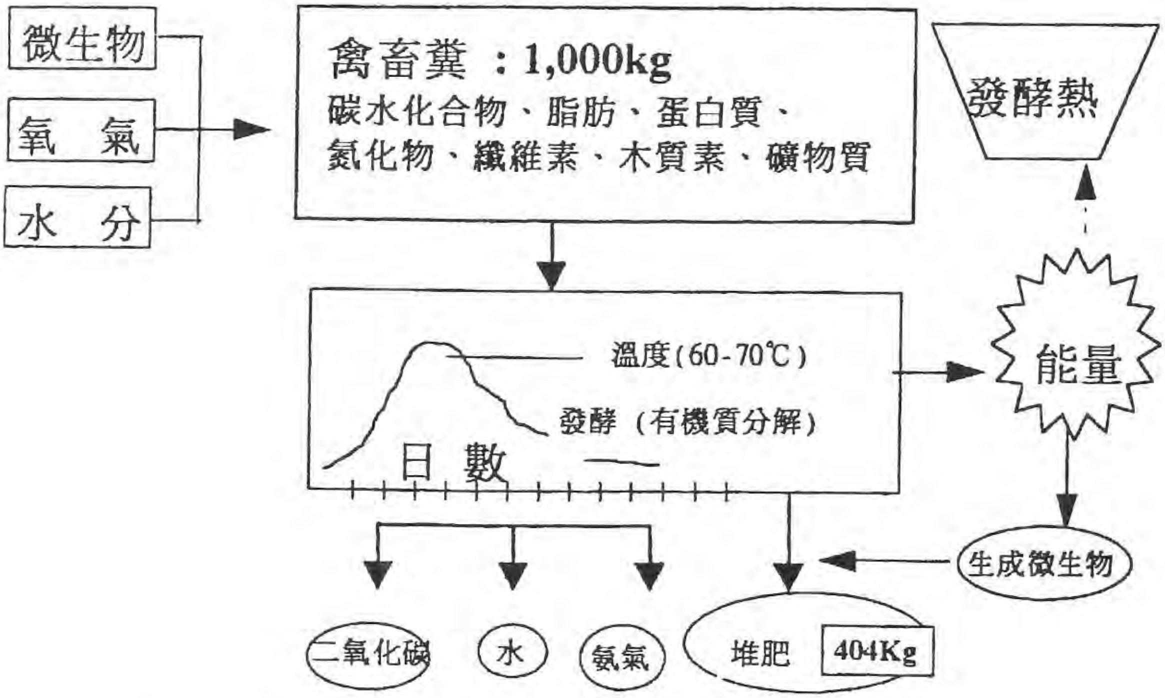
發酵槽型式	含水率%	通氣量 m^3/min	報告者及年份	
一般設計	60-70	0.05-0.3	代永道裕	1995
一般設計	65	0.2(m^3/min.ton)	瑞穗　當	1985
箱型	68	0.1	中央畜產會	1987
開放型	68	0.1	中央畜產會	1987
密閉直圓筒式	60	0.15	鈴木輝雄	1987
圓杓子式	60-65	0.08	上野克美	1995
箱型	52	0.2(m^3/min.ton)	林財旺	1995

D. 水分：微生物體含水率約有 80 % ，因此水分是微生物生存所需，堆肥發酵最適當的含水率，一般控制於 65 % 。

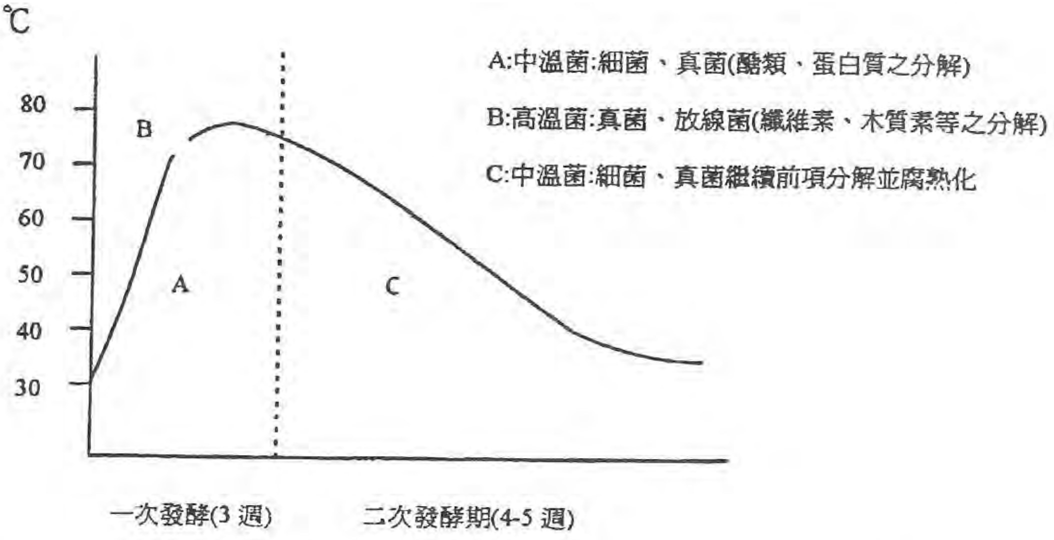
E. 溫度：堆肥發酵，若發酵條件適當，約經

一週可達 60－70 ℃ 以上，如果 2－3 週仍不產生熱，必須重行調整各項條件。

F. 發酵期：有機質分解時間，豬糞與牛糞需 3－4 週，雞糞需 2 週，其有機質殘存率可呈穩定，而達到完全腐熟期約需 2－3 個月。



圖一、禽畜糞堆肥發酵條件及過程示意圖



圖二、堆肥發酵微生物、溫度及其分解物質之關係

(2) 堆肥處理方式

臺灣禽畜糞堆肥化主要處理方式，可分堆積式及機械攪拌式二大類，其又可細分袋裝堆肥式、箱型送風式、靜置堆肥舍式、送風堆肥舍式、迴轉攪拌式，鋼板杓子翻堆式，橫的圓筒式，直立圓筒式等多種如圖三，業者可依禽畜糞別、處理量、投資額等條件參考採用。一般以堆積方式設備投資較少，但處理期間較長，而機械攪拌方式設備投資及維持費較多，處理

期短。各處理方式應用情形如下：

A. 堆積式

● 袋裝堆肥

豬糞混合 14.5 % 稻穀，裝入有孔隙纖維質袋，堆積發酵，發酵溫度第 5 天達 60 ℃，第 15 天最高溫為 63 ℃，40 天發酵結束，含水率由 65 % 降至 34.8 %，堆肥成品乾燥、無臭、搬運方便。

● 箱型送風式處理

養豬廢水，經固液分離機分離固形物，進行送風式堆肥化處理，材料含水率 65 %，送風量每噸每分鐘 200 l，靜壓 320 mm/Hg，送風時間設定送 4 分鐘，停 16 分鐘，全天操作。豬糞堆肥試驗分二組，A 組為混合種子堆肥，B 組為對照。其堆肥醱酵溫度變化，二組醱酵溫度在第 5 天上升至 77 ℃ 及 70 ℃，醱酵期間混合種子堆肥之試驗組為 28 天，但對照組為 35 天，試驗組縮短七天完成。

● 堆積堆肥舍處理

豬糞稻殼墊料在堆積堆肥舍發酵配合鏟土機翻堆，供給微生物所需之氧氣，由醱酵溫度變化判定，發酵時間約

需 70 天，而送風式僅需 35 天，堆積式醱酵時間較長。

- 送風堆肥舍式處理

在堆肥舍內建造醱酵槽，每槽寬 6.0m 、長 6.0m 及高 1.5m ，容積 54 m^3 ，在醱酵槽內設置送風系統，每二台共用一台鼓風機，其規格為馬達 3 hp ，靜壓 320mm 水柱，最大送風量 26 m^3/分鐘，牛糞處理採送風併用鏟裝機翻堆，每 5－7 天翻堆一次，共需翻堆 7 ～ 8 次其醱酵溫度為 65 ℃ - 70 ℃ ，醱酵 60 天，又經二次醱酵 28 天共 98 天完成。

B. 機械攪拌式

- 迴轉攪拌式處理

A 條板式迴轉攪拌處理

B 刀爪式迴轉攪拌處理

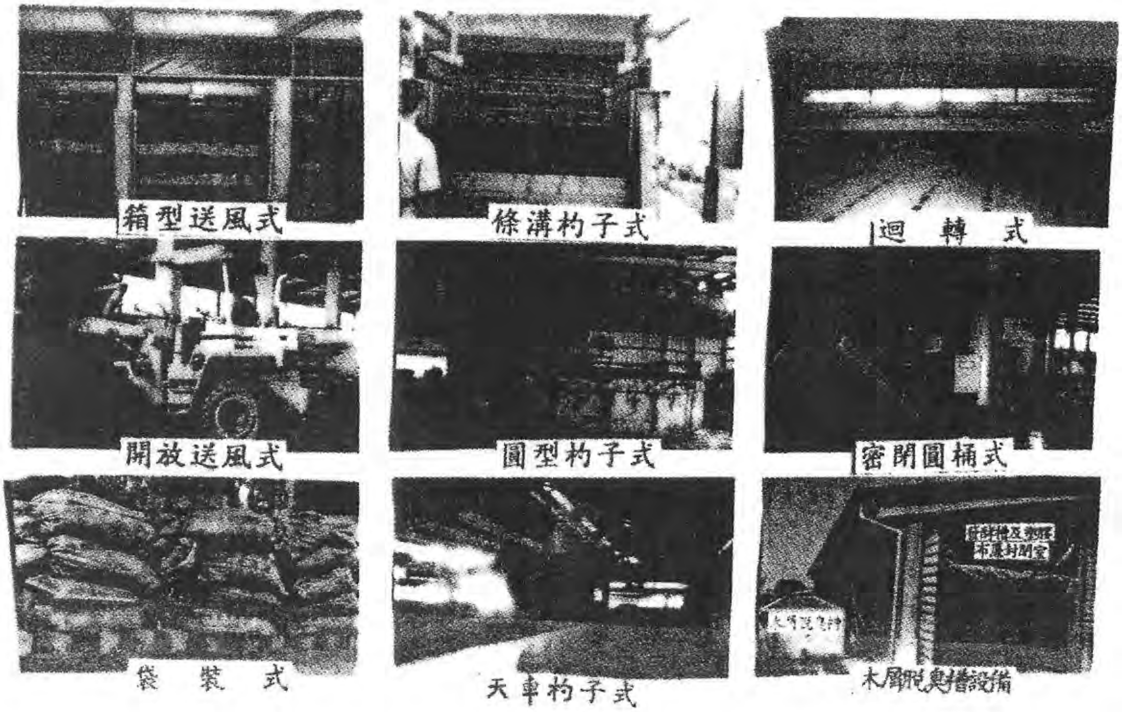
- 杓子式攪拌處理

A 套裝杓子式翻堆處理

B 天車杓子式翻堆處理

C 圓型杓子翻堆式處理

- 直立圓筒式處理
- 橫的圓筒式處理



圖三、堆肥處理方式

3. 二次發酵

堆肥發酵過程，考慮其有機質分解穩定及有害物質消除等二項因素，在發酵槽內發酵後，仍需搬出堆肥舍進行二次發酵，除可將難分解物質繼續分解且可將上下各層不同材料分解程度更完全、均勻，安全施用於農作物；二次發酵時間約30天。

（三）各式堆肥處理場營運狀況

堆肥處理場以養雞、養豬、養牛等三種不同畜禽糞之處理，其機械設備、處理流程、產量、投資額及製造成本等調查資料如下：

1. 雞糞堆肥場

調查已營運之雞糞堆肥處理場 7 場，其處理方式有圓形杓子式 3 場、迴轉攪拌式 2 場、直立圓桶式 1 場及堆積送風式 1 場等四種如圖三，其處理流程、產量及製造成本，所得結果，依處理方式報告如下：

● 圓形杓子式

A 場：蛋雞糞堆肥場，蛋雞糞搬運到堆肥場，將濕雞糞用鏟裝機混合，調整含水率 50 % - 60 %，搬入直徑 6.5 m、深 2.0 m 之圓型發酵槽，每天翻堆一次，發酵 14 天後，再送進二次發酵槽 50 天，合計 64 天結束，裝袋、出售。設在彰化縣耀祥畜牧場，可處理 30,000 隻雞糞，一個月處理二批，每批 40 噸，堆肥年產量 480 噸，其處理流程如下：

雞糞 → 調整含水率 (混合乾雞糞) → 圓形杓子式發酵 (14 天) → 二次發酵 (50 天) → 裝袋 → 出售

B 場：為肉雞糞堆肥場，雞糞加水調整含水率 50

%～60%，搬入圓型杓子式發酵槽進行發酵 16 天，再移入送風式發酵 30 天，合計 46 天，裝袋出售。設在嘉義縣隆盛農牧場，飼養土雞 100,000 隻，肉雞 50,000 隻雞，土種雞 20,000 隻合計 170,000 隻雞糞，每批進料 35 噸，堆肥年產量 396 噸，其處理流程如下：

雞糞 → 調整含水率（加水） → 圓形杓子式發酵（16 天） → 送風式發酵（30 天） → 裝袋 → 出售

C 場：為蛋雞糞及肉雞糞堆肥場，有蛋雞糞及肉雞糞二種，搬運到堆肥場後，調整含水率至 60%，一般由於肉雞稻殼墊料含水率較低，約 40% 以下，一批蛋雞糞 45 噸，混合肉雞糞 18 噸，約 5 比 2 之比例可調到 60% 之含水率，材料搬入直徑 9 m、深 2 m 之圓型杓子式發酵槽，每天翻堆一次，發酵 15 天後，再送進二次發酵槽 30 天，裝袋、出售。設在台南縣葆南牧場，飼養蛋雞 38,000 隻，肉雞 50,000 隻合計 88,000 隻，採批式處理，每批處理 63 噸，每 15 天處理一批，堆肥年產量 720 噸，其處理流程如下

雞糞 → 調整含水率（混合肉雞稻穀墊料）→ 圓形杓子式發酵（15 天）→ 二次發酵（30 天）→ 裝袋 → 出售

● 迴轉攪拌式

A 場：為條板迴轉式翻堆機製造蛋雞糞堆肥，蛋雞糞搬到堆肥場，將濕的雞糞與乾雞糞用鏟裝機混合，調整含水率為 50%～60%，搬入寬 6 m，長 75 m，深 1 m 之迴轉攪拌式之條溝發酵槽，發酵 35 天結束，裝袋、出售。設在台南縣欣達農牧場飼養蛋雞 120,000 隻，每天處理雞糞 11 噸，堆肥年產量 1,080 噸，其處理流程如下：

雞糞 → 調整含水率（混合乾雞糞）→ 迴轉式翻堆機（35 天）→ 裝袋 → 出售

B 場：為刀爪迴轉式翻堆機製造蛋雞糞堆肥場，蛋雞糞由開放式籠飼雞舍及密閉環控雞舍搬運到堆肥場，水分調整方法是用已發酵糞和新鮮雞糞混合，以鏟裝機搬入刀爪式迴轉攪拌翻堆之發酵槽，寬 4 m、長 72 m，發酵 60 天結束，裝袋、

出售。設在屏東縣劉氏雞糞堆肥場，飼養蛋雞 135,000 隻，每日處理 10 噸，堆肥年產量 1,080 噸，其處理流程如下：

雞糞→ 水分調整（混合已發酵堆肥）→ 迴轉式翻堆機（60 天）→ 裝袋→出售

● 直立圓桶式併用杓子式

製造蛋雞糞堆肥，濕的雞糞與乾雞糞用鏟裝機混合，調整含水率為 50 %，以昇斗機進料到容積 16 m^3 圓筒發酵槽，第一階段發酵 3 天，再以皮帶輸送到寬 1.5 m、高 1.5 m、長 23 m 之杓子式翻堆發酵槽，發酵 22 天，合計 25 天結束，裝袋、出售。設在屏東縣金雞養雞場，飼養蛋雞 60,000 隻，每日處理 4 噸，其處理流程如下：

雞糞→ 調整含水率（混合乾雞糞）→ 直立式圓筒發酵（3 天）→ 杓子式翻堆發酵（22 天）→ 裝袋出售

● 堆積送風式

送風式發酵製造肉雞糞堆肥，肉雞出售後，雞糞集運到堆肥舍，加水調整水分約 50 ～ 60 %，進行發酵 14 天，再移入送風式發酵 60 天，裝袋、出售。設在新竹縣合群農牧場，整批式飼養肉雞 140,000 隻，每年養 6 批，每批飼養 7 週結束後清除雞糞稻殼墊料 160 噸，年雞糞墊料 960 噸，堆肥年產量 480 噸，其處理流程如下：

雞糞稻殼墊料 → 調整含水率 (加水) → 送風式發酵 (60 天) → 裝袋出售

以上 7 場雞糞堆肥處理方式，其發酵期間為 25 ～ 74 天，年堆肥產量 396 ～ 1,080 噸如表六。每公斤堆肥製造成本 3.0 ～ 6.5 元差異很大如表七、。

表六、雞糞堆肥處理場之處理機械、發酵期及產能

處理機械型式	雞糞別	發酵期間(天)	處理雞糞量(噸/批)	年堆肥產量(噸)
型杓子式				
A場	蛋雞	64	40	480
B場	肉雞	46	35	396
C場	蛋、肉雞	45	63	720
迴轉攪拌式				
A場	蛋雞	35	11	1080
B場	蛋雞	60	10	1080
直立圓筒杓子式	蛋雞	25	4	636
堆積送風式	肉雞	74	160	480

表七、各式雞糞堆肥處理場堆肥年製造成本分析（千元）

	圓型杓子式			迴轉式		密閉圓筒式	送風式
	A場	B場	C場	A場	B場		
投資金額成本	6,370	6,258	7,120	7,040	5,800	6,240	9,480
分攤固定成本	1,081	1,180	1,379	1,331	1,236	1,315	1,778
營運管理成本	1,650	1,214	2,388	2,860	2,007	1,956	1,354
總成本	2,731	2,394	3,766	4,191	3,243	3,271	3,132
收入							
堆肥銷售額	2,400	2,653	3,240	4,320	4,320	3,816	1,920
盈餘額	-331	+259	-527	+129	+1,077	+545	-1,212
成本(元/公斤)	5.7	6.0	5.2	3.9	3.0	5.1	6.5
售價(元/公斤)	5	6.7	4.5	4	4	6	4

2. 豬糞堆肥

調查已營運之豬糞堆肥處理 4 場，其處理方式有杓子式、堆積送風式及堆積送風併用迴轉式等三種，其處理流程、產量及製造成本，所得結果，報告如下：

● 天車杓子式

A 場：為杓子式翻堆機製造豬糞堆肥，豬糞用貨車運到堆肥中心，經混合稻殼調整水分，由輸送帶送入發酵槽，每天由杓子式翻堆機翻堆一次，約發酵 45 天結束，經篩選、粉碎、裝袋、出售。在嘉義縣農會堆肥中心使用，處理養豬戶 46 戶，養豬數 200,000 頭，每日處理量 25 噸，年堆肥產量 3,000 噸，其處理流程如下：

豬糞 → 水分調整 (混合稻穀) → 發酵 (45 天) → 篩選、粉碎、裝袋 → 出售

B 場：為杓子式翻堆機製造豬糞堆肥，農戶豬糞用貨車運到堆肥處理場，混合稻殼、木屑調整水分，以鏟裝機送入發酵區，每天由杓子式翻堆機翻堆一次，經 24 天結束，再經二次發酵 30 天共 54

24 天結束，再經二次發酵 30 天共 54 天完成，篩選、粉碎、裝袋、出售。在常豐公司堆肥場使用，可處理養豬數 350,000 頭，每日處理量為 35 噸，年堆肥產量 5,000 噸，其處理流程如下：

豬糞 → 水分調整（混合稻穀）→ 發酵（24 天）→ 二次發酵（30 天）→ 篩選、粉碎、裝袋 → 出售

● 堆積送風式

為送風式併用鏟裝機翻堆，製造豬糞堆肥，農戶豬糞用貨車運到堆肥處理場，以特製混合機混合稻殼及種堆肥調整水分，再以鏟裝機送入送風式發酵區發酵 7 天後，移到二次發酵區發酵 30 天共 37 天完成，經篩選、粉碎、裝袋、出售。在台門公司堆肥場使用，可處理養豬頭數 150,000 頭，每日處理量 26 噸，年堆肥產量 3,600 頭，其處理流程如下：

豬糞 → 水分調整（混合稻穀及種堆肥）→ 發酵（37 天）→ 篩選、粉碎、裝袋 → 出售

● 堆積送風併用迴轉式

尿貯存池之豬糞泥，添加木屑、豆粕等農產品，以創裝機調整含水率約 60 % ，並搬進送風式發酵槽 28 天後移出堆積 7 天，再移入寬 6 m 、長 50 m 之迴轉式翻堆舍 7 天，再經二次發酵 14 天，共 56 天結束，經篩選、裝袋、出售。設在屏東昌牧有機肥料場，處理豬 30,000 頭的糞及木屑、豆粕等農產品，每天處理 30 噸，年堆肥產量 6,000 噸，其處理流程如下：

豬糞 → 水分調整（太空包木屑）→ 送風發酵（28 天）→ 堆積發酵（7 天）→ 翻堆機堆堆（7 天）

二次發酵（14 天）→ 篩選、粉碎、裝袋 → 出售

以上 4 場豬糞堆肥處理方式，其發酵其間為 45,54,35 及 56 天，年堆肥產量 3,000 、 5,000 、 3,600 及 6,000 噸如表八。每公斤堆肥製造成本 2.7 ～ 4.8 元如表九。

表八、豬糞堆肥處理場之處理機械、發酵期及產能

處理機械型式	發酵期間(天)	處理豬糞量(噸/批)	年堆肥產量(噸)
天車杓子式			
A 場	45	25	3,000
B 場	54	35	5,000
堆積送風式	37	26	3,600
堆積送風式配合迴轉式	56	30	6,000

表九、各式豬糞堆肥處理年堆肥製造成本(千元)

	天車杓子式		送風式	送風式配合迴轉式
	A 場	B 場		
投資金額成本	45,974	19,140	17,630	17,550
分攤固定成本	7,551	2,757	3,208	2,786
營運管理成本	6,854	14,419	7,296	13,200
總成本	14,405	17,176	10,504	15,986
收入				
堆肥銷售額	13,500	16,500	15,840	18,000
盈餘額	-905	-676	+5,341	+2,013
成本(元/公斤)	4.8	3.4	2.9	2.7
售價(元/公斤)	4.5	3.3	4.4	3.0

3. 牛糞堆肥

調查已營運之牛糞堆肥處理 3 場，其處理方式有杓子式、堆積送風式及迴轉式等三種，其處理流程、產量及製造成本，所得結果報告如下：

● 杓子式

為條溝杓子式翻堆機製造牛糞堆肥，牛糞裝在小型運搬車運到堆肥中心，先經太陽乾燥房乾燥，調整水分至含水率約 60 % ，以鏟裝機搬進條溝式發酵槽發酵，使用杓子式翻堆機加以翻堆，隔三天翻堆一次，約 35 天結束，篩選、粉碎、裝袋、出售。在雲林縣崙背牛糞堆肥中心，處理酪農戶 17 戶、乳牛 1,500 頭，每日處理量 15 噸，堆肥年產量 1,560 噸，其處理流程如下：

牛糞 → 水分調整（太陽乾燥）→ 發酵（35 天）→ 篩選、粉碎、裝袋 → 出售

● 堆積送風式

為送風式併用鏟裝機翻堆製造牛糞堆肥，農戶牛糞墊料用運搬車運到堆肥中心，然後添加廢棄太空包木屑、雞糞等原料，用鏟裝機送入送風式發酵槽，每 5 至 7 天翻堆一次，約發酵 60 天結束後再移到二次發酵區發酵 28

天，共 88 天完成，經篩選、粉碎、裝袋、出售。佳里農牧廢棄資源處理中心使用，可處理乳牛 1,600 頭，雞 100,000 隻，每日處理量 40 噸，年堆肥產量 5,040 噸，其處理流程如下：

牛糞 → 水分調整／混合菇類木屑 → 發酵（60 天）→ 二次發酵（28 天）→ 篩選、粉碎、裝袋及出售

● 迴轉攪拌式

為迴轉式翻堆機製造牛糞堆肥，各農戶之牛糞及蔗渣墊料運到處理中心，調整水分後以鏟裝機搬進 6 m 寬，80 m 長之條溝式發酵槽，使用條板迴轉式翻堆機每天翻堆一次，約 60 天結束，再經二次發酵 30 天共 90 天完成，篩選、裝袋、出售。設在台南縣柳營畜牧廢棄資源處理中心，處理酪農戶 41 戶、乳牛 4,700 頭，每日處理量 66 噸，堆肥年產量 12,000 噸，其處理流程如下：

牛糞野外堆積 → 迴轉式翻堆機發酵（60 天）→ 二次發酵（28 天）→ 篩選、粉碎、裝袋及出售

以上 3 場牛糞堆肥處理方式，其發酵其間為

35、88 及 90 天，年堆肥產量 1,560、5,040 及 12,000 噸如表十。每公斤堆肥製造成本 6.6、3.9、3.5 元如表十一。

表十、牛糞堆肥理場之處理機械、發酵期及產能

處理機械型式	發酵期間 (天)	處理牛糞量 (噸/批)	年堆肥產量 (噸)
杓子式	35	15	1,560
堆積送風式	88	40	5,040
迴轉攪拌式	90	66	12,000

表十一、牛糞堆肥年製造成本分析（千元）

	堆肥場別		
	杓子式	送風式	迴轉式
投資金額成本	28,534	22,546	80,000
分攤固定成本	5,388	3,526	12,532
營運管理成本	4,958	16,257	28,880
總成本	10,346	19,783	41,412
收入			
堆肥銷售額	7,020	24,192	48,000
盈餘額	-3,326	+4,409	+6,588
成本 (元/公斤)	6.6	3.9	3.5
售價 (元/公斤)	4.5	4.8	4.0

由上 14 堆肥場調查得知，一般雞糞堆肥每公斤製造成本 3.0 - 6.5 元，豬糞堆肥 2.7 - 4.8 元，牛糞堆肥 3.5 - 6.6 元之間，而影響製造成本最主要因素為固定成本和年產量。

三、堆肥成分

由豬、牛、雞、羊糞等製作的堆肥，其成分以原料及調整材之種類、添加量等不同有差別如表十二，一般均含有豐富的有機質，氮、磷、鉀、鈣、鎂等肥料成分。有機質含量 50.0 % - 85.2 % ，碳氮比 10 - 23 ，均為良好的有機質肥料。

表十二、堆肥成分

項目	pH	水分	有機質	有機碳	總氮	磷	鉀	鈣	鎂	碳氮比
種類						%				
豬糞渣堆肥(平面舍)	6.9	41.1	85.2	38.2	2.1	1.0	0.4	4.2	0.5	16
豬糞堆肥(加稻殼)	7.9	25.6	77.6	34.9	2.4	5.5	1.7	4.3	2.4	15
豬糞堆肥(稻殼墊料)	8.3	36.8	71.6	32.2	1.4	3.8	3.1	3.3	0.9	23
牛糞堆肥(蔗渣墊料+雞糞+木屑)	7.5	42.0	65.0	29.3	1.9	2.3	1.7	5.5	1.3	15
牛糞堆肥(稻殼墊料)	7.1	36.2	63.2	28.4	2.3	2.9	5	3	2.3	12
純雞糞堆肥	7.7	29.6	50.0	22.5	2.2	9.2	4.6	14.3	1.8	10
肉雞糞堆肥(稻殼墊料)	7.1	22.9	55.2	24.8	2.0	6.3	4.5	8.6	1.6	12
污泥堆肥(加稻殼)	8.1	19.4	53.9	24.3	2.4	6.6	.7	8.9	1.1	10
羊糞堆肥	9.3	57.2	76.1	34.2	2.7	2.1	4.2	5.9	1.2	13

四、簡易腐熟度判定

所謂「腐熟」是禽畜糞及農產副產物等有機資材，供農業利用時，加以堆肥化處理，藉微生物分解作用將易分解性有機質或對生育有害的物質加以分解而穩定化。穩定化堆肥施用後，對土壤及作物具有安全性、不會產生不良的影響外，另亦有增加或維持地力、提高作物生產性等為最終目標。而所謂「腐熟度」是為完成上述目標，實際上有不同程度的腐熟，如未熟、中熟，完熟等不同的腐熟度。腐熟度判定方法甚為複雜，如測定分析 CO_2 產生量， C/N 比例、陽離子交換容量 (CEC) 、硝酸態氮等多種，需有儀器設備、技術人才且判定困難，為此期能以簡易設備、簡單的方法來判定，其方法在本文加以說明，供農民參考。

（一）堆肥溫度變化

堆肥醱酵過程產生熱，因此堆積數天內溫度急速上升，可達 70 ～ 80 ℃ ，雞糞堆肥發酵在第四天 75 ℃ ，豬糞堆肥第五天 77 ℃ ，污泥堆肥第 2 天可達 74 ℃ ，在高溫持續數天後緩慢下降，在此時進行翻堆，供給氧氣，溫度會再度上升，如此上升，下降數次後堆肥溫度已下降至外界氣溫，雖再進行翻堆，溫度已不再上升、可認定為完熟堆肥，大多數的堆肥均可採用這種方法判定腐熟度，但如併用其他的方法更確實可靠。

（二）有機質殘存率判定

堆肥化處理過程，有機質分解而穩定、腐熟，其成分中灰分增加、碳素減少以致碳氮比降低，測

定有機質殘存率有機質因分解而減少，經一段期間呈穩定不變。豬糞、牛糞需 3-4 週，而雞糞則需 2 週，有機質殘存率呈穩定，不再有變化時可判定完熟堆肥。

（三）發芽率試驗

以 5 ％ 濃度萃取液做為發芽率試驗：萃取液是由風乾糞 5 g 盛於三角瓶加 100 c.c. 之水，並置於 80 ℃ 恆溫水箱，振盪 1 小時，冷卻後以紗布及濾紙過濾之；試驗方法是抽取萃液 10 c.c. ，注入培養皿之濾紙上，撒播蘿蔔種子， 50 粒，於 20 ℃ 種子發芽溫箱，經三天觀察發芽率，發芽率 100 ％ 表示堆肥腐熟度最完全，由良好發芽率判定完熟堆肥，此法適用於雞糞、污泥等堆肥腐熟度之判定。

（四）圓形濾紙圖形顯示判定法

濾紙預先以 0.5 ％ 硝酸銀 溶液浸泡，烘乾待用；測試堆肥材料 1 g，加入 100 c.c. 0.1 N 苛性鈉溶液，取上澄液吸入濾紙，呈顯齒狀突起圖形，明顯者為已腐熟堆肥。未顯示齒列狀突起而呈圓滑者為未腐熟堆肥，完熟堆肥呈顯齒狀圖形。適用於雞糞、豬糞、污泥等堆肥。

（五）綜合性狀判定

為綜合多種項目的性狀及內容判定法，其項目包括：

●發酵日數： 60 ～ 90 天。

- 堆肥顏色：呈黑褐色。
- 材質形態：輪廓崩毀，均勻細小。
- 臭氣：沒有糞尿臭，有堆肥發酵味。
- 含水率：呈乾燥狀態，手壓不成塊。
- 發酵溫度：發酵高溫達 70 ℃以上。
- 翻堆次數：翻堆 6 ～ 7 次以上。

本方法適用於雞糞、豬糞、牛糞、污泥等堆肥腐熟度之判定，如果堆肥符合上列標準者為最完全腐熟，反之則不完全腐熟。

五、堆肥場脫臭技術

政府為防止環境污染及安全使用畜禽堆肥，正大力推廣畜糞堆肥場之設立，鼓勵禽畜糞製作有機質肥料回歸農地。但堆肥化過程將產生多種成份之臭氣如氨氣 (NH_3)、三甲胺 ($(CH_3)_3N$)、甲硫醇 (CH_3SH) 及硫化氫 (H_2S) 等。這些臭氣對人畜直接有害，其特性及對人類生理上的影響如表十三，濃度高時引起呼吸障礙、窒息等中毒現象。因此政府訂定有臭氣污染防制法及勞工安全衛生法規定，空氣污染排放標準及勞工作業環境空氣中有害物質容許濃度標準，以保護生命之安全。然而脫臭的方法很多種，台灣目前已由本所開發並推廣的木屑脫臭法，具有施工方便、材料取得及操作容易，脫臭效果良好且資源再利用等優點，今就其方法加以說明，俾供業者參考：

表十三、禽畜糞產生臭氣之性質及人類生理上影響

臭氣成分	臭味	臭氣濃度(ppm)	對人的影響	特性
氨氣	刺鼻(阿摩尼亞)	5	可判斷之最低臭氣濃度	刺激性
		6-20	引起刺眼、呼吸障礙	
		40	頭痛、嘔吐、食慾減退	
		400	鼻、喉刺激	
		3,000	窒息	
硫化氫	蛋腐敗臭味	10	刺眼、刺鼻	中毒性
		50-100	嘔吐、刺眼、刺鼻	
		200	頭痛、眼花、肺炎	
		500	嘔吐、神志不清	

（一）脫臭原理

木屑脫臭的原理為臭氣抽送通過木屑層，臭氣成份如氨氣等由木屑的吸附作用及水分中溶解等而去除臭味，每公斤木屑乾物質吸附氨氣量，濕材比乾材高 54%，如表十四，因此脫臭槽內木屑材料必需洒水，保持適當含水率，以提高脫臭效率並延長使用期限，吸臭量達到飽和時需換新材料。

表十四、不同材料對氨氣之吸附量

供試材料	含水率 (%)	總體密度 (kg/m³)	NH_3 吸附量 g/kg.DM	相對乾濕吸附量指數
木屑(乾)	10.0	200	3.0	100
木屑(濕)	64.0	400	5.5	154
稻殼(乾)	17.6	110	3.2	100
稻殼(濕)	60.1	250	6.0	153

（二）脫臭設備

1. 臭氣發生源的封閉室

在醱酵槽之四周圍以塑膠布、鋼板等封閉，在一端設置抽氣用鼓風機，抽取臭氣送到脫臭槽脫臭。但大型堆肥處理場則需在場內發酵槽加設塑膠房封閉，並在中央上方設置一換氣口，強制換氣脫臭。

2. 抽氣鼓風機

遠心型 (turbo fan) 抽氣鼓風機之規格，靜壓為 320 mm Hg ，各種脫臭材料靜壓推薦數值如表十五，每分鐘之抽氣量 $1m^3$ 為基準，須配合脫臭槽面積 $1.7m^2$ 之設計，即 $10m^3$ 風量需配有 $17\ m^2$ 脫臭槽面積。

表十五、各種材料靜壓之推薦數值

方法	堆積高度 (m)	靜壓 (mm·Hg)	報告者
堆肥脫臭槽	1.0	210	早川岩夫
土壤脫臭槽	0.5	110	福森　功
岩棉脫臭槽	2.5	300	吉山隆司
木屑脫臭槽	1.0	200	石川幸市

3. 木屑脫臭槽

脫臭槽之建造包括槽壁、臭氣抽送管道、卵

石、尼龍網、木屑等，底層舖以卵石架空並裝設臭氣抽送用管道，卵石上層舖尼龍網，上面填充木屑，脫臭槽內填充木屑之高度為 1 m ，木屑應選鋸木廠之細木屑為宜，含水率 35 ～ 50 % ，含水率太低時脫臭效果不良，應洒水調高含水率。

（三）脫臭效率

堆肥場產生之氨氣，在經過木屑層之速度每秒 10 mm ，臭氣與木屑接觸時間 100 秒條件下，脫臭後氨氣僅 1 ppm ，脫臭效率達 92 ～ 100 % ，效果良好，如表十六。但木屑吸附之臭氣達到飽和狀態時去除臭氣之效率消失，必須更換新的木屑；木屑可使用之日數，以脫臭槽之木屑表面有臭氣逸出時換新。

表十六、木屑脫臭槽之脫臭效率

	脫臭前		脫臭後		脫臭效率	
	NH_3	H_2S	NH_3	H_2S	NH_3	H_2S
	------------	ppm	-----------		-------- %	-------
豬糞	12 - 45	ND	1	ND	92 - 98	ND
雞糞	20 - 340	ND	0	ND	100	ND

ND：H_2S 以 0.1 ppm 檢知管測不出反應

六、結語及建議

（一）禽畜糞堆肥之製造需取得品質好的原料並控制碳氮

44比 20 比 1 ，含水率 60 － 65 % ，充足的氧氣及機械翻堆，另外發酵期 30－90 天，若混合木屑、甘蔗渣等較難分解原料則應延長發酵期，如此始可製造良質堆肥。

（二）堆肥處理方式，由於勞動力缺乏已驅向機械化操作，經調查14場之處理流程各場都很類似，即先行水分調整、主發酵、二次(後熟)發酵、裝袋、出售。堆肥年產量每場 396 ～ 12,000 噸，產量高，其設備國內已有多種產品出售，對機型之選購仍需以生產優良品質堆肥、故障率低、造價低，並配合處理量、場地等因素，考量選購最適合之機型，如迴轉式或杓子式。

（三）堆肥製造成本每公斤 3.5 ～ 6.6 元，其收益每年尚有虧損者佔 43 % ，其相關因素如固定設備之投資額、生產量等影響很大，為維持營運正常，業者仍待政府在銷售層面多加協助，增加收益，始可維持正常經營。

（四）簡易腐熟度判定包括堆肥溫度變化、有機質殘存率、發芽率試驗、圓形濾紙顯示法、綜合性狀判定...等，可供禽畜糞堆肥腐熟之判定，不需昂貴的儀器設備及技術人才，在農家堆肥場就可辦理。

（五）堆肥化過程必會產生臭味，目前推廣之木屑脫臭法，效果良好，但仍有少數堆肥場未設置，應加於獎勵補助設置脫臭設備。

第十二章 不同堆肥之特性

林木連　張明暉　黃維廷

行政院農委會農業試驗所

一、前言

堆肥是人類寶貴的資源，它的寶貴在於含有養分及有機質，可以供給作物生長所需之養分及改良土壤之理化及生物性質，同時堆肥大部份為緩效性，保存於堆肥中之養分，不會一下子就被雨水或灌溉水淋洗掉，堆肥等於是維持人類生存所需的養分一個極為重要的留存方式。由於人類為了生存必需直接或間接經由人體、作物及禽畜攝取養分，故養分中較易缺乏的氮、磷及鉀就逐漸在地球上被消耗掉，堆肥的製造等於是把養分循環再加以利用，因此體會到堆肥製造利用的重要性，目前世界上很多國家無不對農畜牧廢棄物的資源化利用，也就是對堆肥的製造利用投以莫大之重視。

堆肥由於製造材料、製造方法及貯藏時間之不同而有不同之特性，瞭解堆肥製造材料之特性才能適宜選擇堆肥製造方法，瞭解不同堆肥之特性才能就不同土壤、不同作物之需肥特性擬定堆肥施用策略，且堆肥製造廠商才能擬訂產品之行銷方法。

台灣畜牧業發達，以目前所飼養之禽畜數量，每年所產出之禽畜糞便約達七百萬公噸，若將畜產及農產廢

棄物混合醱酵製成堆肥，每年約有四百萬公噸，然這些堆肥因製造材料及製造方法不同而有不同特性，其他類堆肥如樹皮堆肥、垃圾堆肥、廚餘堆肥、蚯蚓堆肥、伯卡西堆肥、菇類木屑堆肥等亦有不同之特性。本文之目的即在於介紹一些堆肥之特性，並同時介紹一些國際上堆肥利用之新產品，以供業界參考。

二、影響堆肥特性之主要因子

（一）堆肥化資材

堆肥製造材料之選用組合是決定堆肥特性之重要因子，在台灣地區之環境下堆肥製造之主要原料為禽畜糞（豬、羊、雞等）及蔗渣，而副原料為稻穀、木屑、廢棄菇類堆肥、花生殼等。一般而言堆肥材料之組合選定後，該堆肥之特性幾乎就被決定了，因為材料之成份有些是不會逸散，如磷、鉀、鈣、鎂等，但會隨其他成分而產生含有率之變動，尤其水份變動、有機質之分解（碳素經由二氧化碳之逸散）。堆肥化愈完全，理論上硝酸態氮之含量會愈高，但堆肥量就愈少。

一般堆肥材料之特徵可分物理性的、化學性的及生物性的。物理性之特徵如材料之重量、固液比、灰份含量、粗細、密度。固液比低的禽畜糞須要填充材料來調整堆肥材料組合之通氣性，以利堆肥化之進行，灰份愈高則堆肥之養分含量愈多，材料之粗細則會影響肥效之快慢。禽畜糞之

密度因禽畜類而有所不同，表一為不同禽畜類之一般密度範圍。一般糞便緻密者，養分之含量較高。

表一、不同禽畜糞之密度

糞便種類	密度(kg/L)
乳牛	1.17-1.48
肉牛	1.33-1.45
家禽	1.55-1.8
豬	1.44

(Iowa State Univ., 1999)

堆肥材料的化學特徵指的是如氮、磷、鉀養分的含量、微量元素（包括重金屬）的百分率、有機化合物如生化成份、臭味成份。禽畜糞中之肥料養分為完全來自動物所吃食之飼料，禽畜一般只利用飼料中 25 % 的養分，其餘 75 % 的養分則經由糞或尿排出來（表二），所以禽畜糞含有豐富之肥分，宜好好地加以資源化利用。禽畜糞中約半數的氮及三分之二的鉀是存於液體成分中，因此這些液體成分頗為值得保存利用，糞尿的固液分離往往損失了養分，而墊料之鋪用則可吸收大部份之液態養分。豬飼料如添加銅、鋅成分則會造成豬糞中之銅鋅含量要比其它禽糞糞便為高。

表二、禽畜攝食飼料之養分排出率（%）

種類	N	P	K
肉牛	80	61	93
乳牛	71	73	90
豬	65	69	86
肉雞	61	69	80
卵雞	70	68	87

(Fraser, 1991)

堆肥材料的生物性質特徵如病原微生物及寄生蟲卵、雜草種子、有機物的分解及礦化速率等。一般堆肥化之過程可將病原微生物及寄生蟲卵、雜草種子殺死，而豬、牛、羊、雞三種糞便中，則以牛糞因食料屬牧草類居多，富含纖維質故分解較為緩慢，此外添加之副資材如穀殼、鋸木屑或廢棄菇類堆肥 (含木屑為主成分)等之分解礦化就較為緩慢，以木屑為堆肥材料發酵分解之後則可能有高量之木質素、纖維素、半纖維素，亦期望有長效型且穩定化之腐植質。

（二）堆肥製造方法

堆肥製造方法亦為影響堆肥特性之重要因子，傳統上厭氧製造之堆肥有機質含量稍高，而養分含量上因擠壓排水或放流而導致養分含量如 N 、

P、K、Ca 及 Mg 含量較一般較低。表三為 Verdonck (1998) 比較於厭氧及有氧系統發酵狀態下之成分差異。台灣地區堆肥製造以開放式有氧發酵堆積為主，厭氧發酵幾乎沒有廠家使用。

表三、不同通氧狀態下堆肥成分之差異

	單位	有氧發酵	厭氧發酵
乾物質	%	60 - 70	55 - 60
有機質	%	16 - 22	19 - 24
電導度	mS/cm	2.2 - 3.0	0.8 - 1.2
pH	---	8.0 - 8.5	7.5 - 8.0
總 N	%	0.8 - 1.2	0.6 - 1.1
總 P_2O_5	%	0.4 - 0.75	0.45 - 0.5
總 K_2O			
C/N	Ppm	10 - 15	14 - 18
NH_4-N	Ppm	0 - 400	0 - 300
NO_3-N	Ppm	100 - 1200	100 - 250
可抽出性 P	Ppm	600 - 900	200 - 500
可抽出性 K	Ppm	3000 - 6500	1000 - 1500
可抽出性 Ca	Ppm	6000 - 9000	3500 - 5000
可抽出性 Mg	Ppm	500 - 750	250 - 350

(Verdonck, 1998)

禽畜糞堆積發酵方式大致可分為靜置堆積和機械攪拌二種。一般而言，靜置堆積式堆肥設備投資較少，且處理時間較長，但堆肥成品常成結塊，品質不均勻，而機械攪拌式進行堆肥翻堆，設備的投資及管理維護費用較高，但堆肥化期間可縮短，且成品品質較均勻 (林財旺等， 1999) 。

堆肥的貯藏亦為影響堆肥之品質，禽畜糞及農產副產物等有機質材雖經堆肥化處理，藉微生物分解作用加以分解而呈穩定化，惟以水份、溫度適當之情況下堆肥仍是會繼續發酵，導致碳素以二氧化碳之型態損失，而養分則進一步礦化，尤其硝酸態氮含量的增加，是故袋裝或大堆之堆肥長期貯藏其重量會減少。

三、堆肥之特性與品質

堆肥之品質實際上是堆肥的物理、化學、有機及生物性特徵之函數 (Diaz 等， 1993) ，通常堆肥之品質可分成上述四組性質來評估，而每種性質下又可分成數個項目更進一步加以界定。

表四、堆肥品質之評估項目

性質	項目	性質	項目
物理性	總體密度	化學性	養分(大量及微量)
	顏色		重金屬
	水分		可溶性鹽類
	味道		
	有機質含量	有機	毒性化合物
	pH	生物性	病原菌
	粒徑		種子發芽
	保水力		
	污染物(惰性物質)		雜草種子
	腐熟度		

(Source: Washington Department of Ecology)

然而由於有些項目在評估時費時或困難，故一般之有機質肥料品目及規格表也只以如表五之保證成分、堆肥有害成分及其他規定事項做為堆肥品質之標準以保障農民及維護農業環境生態。

表五、我國肥料管理之部份堆肥品質標準

種類	有機質	保證成份（%，低限）			重金屬（%，高限）		水份
	(乾基，%)	全氮	全磷酐	全氧化鉀	銅	鋅	(%)
一般堆肥	60%	0.6	0.3	0.3	0.01	0.08	35%以下
蛋雞糞堆肥	40%	2.0	2.0	1.0	0.01	0.08	35%以下

肥料要覽(88 年版)

四、主要堆肥之特性

台灣地區堆肥之產銷以禽畜糞堆肥為主，根據翁震炘等人（1999）報告台灣地區以禽畜糞實際可取得固形物量總量及農產廢棄物估算，每年約有 5,624,977 公噸，若以 35% 製成堆肥 1,968,741 公噸。台灣地區有政府輔導之堆肥場、堆肥中心 43 處，及民營有機質肥料工廠 23 家，所產製堆肥之品牌相當繁多。根據前農林廳頒佈符合「使用有機質肥料之補助要點」。之肥料業者及廠牌名單分為有 61 家，93 個品牌。這些品牌所標示之氮素保證成分之分佈頻度如表六。

表六、有機質肥料推廣補助品牌氮素保證成分分佈

4－3 %	3.0 - 2.0 %	2.0 以下
8	22	63

N＝93 品牌，農林廳 (1999) 資料

（一）禽畜糞堆肥

禽畜糞堆肥品質基準之設定一般要比化學肥料困難，因為本項堆肥之製造受家禽及家畜種類、年齡之不同，所混合之副資材之種類及量的不同，堆肥化方式之不同，使得所產製出來之堆肥成分有所差異。然而從肥料管理之立場而言，制定堆肥品質之基準仍有其重要性，因為這樣才能期望堆肥製造品質之提高，農民施用堆肥時才能就成分含有率擬定必要之策略。一般而言，成分含有率不明的話會造成施肥設計上之困難。由於雞糞堆肥、豬糞堆肥與牛糞堆肥彼此間有其成分含量上之差異，故在施用上有不同之考量。

1. 雞糞堆肥

雞糞為糞尿同體，所製成之堆肥，一般而言要比豬糞堆肥或牛糞堆肥有較高之氮、磷、鉀肥料成分。蛋雞之飼料為因應蛋殼硬度所需，含有較高量之鈣，故蛋雞糞堆肥之鈣含量較高，此外蛋雞之飼料營養成分較高，所以蛋雞糞堆肥要比肉雞堆肥有較高之氮、磷及鉀成分。蛋雞糞堆肥屬養分型之有機質肥料。台灣地區肉雞飼養一般使用穀殼當墊料，穀殼中含高量之矽，可減輕磷素之被土壤固定。

2. 豬糞堆肥

豬糞中的磷素含量與雞糞相當，而其他肥料成分如氮、鉀含有率則較雞糞為低，但卻較牛糞為高。

豬糞堆肥為台灣地區禽畜糞堆肥之大宗，一般以機械攪拌進行堆肥化之方式為多。本項堆肥製造之副資材添加以穀殼、蔗渣或廢棄菇類堆肥為主。副資材之添加具有稀釋效果會使得肥料成分降低，但有機物含量提高，而始得土壤改良之效果提高，特別是難分解之有機物添加，如菇類廢棄堆肥之添加，有利堆肥中木質素、纖維素含量之提升。

3. 牛糞堆肥

牛糞的特點是纖維素含量高，但肥料成分的含有率均比雞糞或豬糞低，以粗草為飼料主體的話，纖維素及鉀素的含量較高，而氮、磷、鈣含量較低。

牛糞堆肥一般而言含有較不易分解之有機物，故是為改良土壤良好資材。此外牛糞堆肥之氮素肥效率低，在土壤中氮素慢慢釋放，有利地力之維持，反而不若速效性氮肥較易被雨水淋洗。由於台灣地區養牛事業並不發達，產製牛糞堆肥之廠家也不多。

（二）蔗渣堆肥

由於台糖公司之終止蔗渣製造紙漿之利用，故利用蔗渣製成之堆肥成為本省堆肥產製之大量產品。台糖公司虎尾廠使用豬糞尿而新營廠則使用酒精廢醪，分別以自動噴洒系統，噴灑於蔗渣，經堆肥化製成堆肥。蔗渣富含纖維素、木質素及

五碳醣，但 N 、 P 及 K 含量低，銅鋅含量亦極低。蔗渣堆肥化後 C/N 比為 21 ,有機質含量 58 % ， N 、 P_2O_5 及 K_2O 分別為 1.22 % 、 0.25 % 及 0.49 % (黃啟民 ， 1999) 。有關蔗渣堆肥之特性可參考本專刊之蔗渣之資源化利用專文。

(三) 樹皮堆肥

樹皮堆肥屬於碳氮比高、高陽離子交換容量之有機質肥料，屬長效期之有機質肥料，適用改良土壤之物理性質使用，惟其 N 、 P 及 K 養分含量較低，本省業者為改善此一缺點亦有添加適量之雞糞製成堆肥出售。樹皮堆肥之保證成分為 1. 全碳量 40 ~ 50 % ，碳氮比 20 ~ 40 ； 2. 陽離子交換容量 60 毫當量/100 公克； 3. 全氮、全磷酐及全氧化鉀以實際含量登記； 4. 電導度 (EC) 4.0 毫姆歐/公分以下； 5. 水分 40 % 以下。

(四) 垃圾堆肥

垃圾堆肥一般養分含量低、夾雜物多，且重金屬含量亦多，品質頗為複雜。垃圾堆肥之保證成分為 1. 有機質 40 % ； 2. 全氮 0.8 % ；全磷酐 0.6 % ；全氧化鉀 0.6 % ； 3. 重金屬含量上限為 Hg 2 ppm 、 Cd 5 ppm 、 Ni 25 ppm 、 As 50 ppm 、 Pb 150 ppm 、 Cu 150 ppm 、 Cr 150 ppm 、 Zn 500 ppm。

(五) 其他堆肥

廚餘堆肥因原料來源而有不同之品質，但主為

供自家使用，很難商品化。蚯蚓堆肥主為分解廚餘之產物。茶渣堆肥一般混入豬糞或其他材料製造而成，氮素含量可達 2.0 % 以上。

五、堆肥新產品

不同特性之堆肥有不同之用途，禽畜糞堆肥之多方位利用國外有開發堆肥抽出液或稱為堆肥茶 (compost tea) ，甚至加入微生物製劑，以促進作物生長，且供抑制一些作物之病害；添加殺蟲劑製成植保堆肥 (plant protection compost) 供盆栽花卉使用；製成微粉化堆肥 (micronized compost) 透過灌溉系統使用；園藝上之用途如製備容器栽培介質，水耕栽培之養分源等。

六、結語

對堆肥製造者而言，要充分瞭解堆肥之特性，宜進行使用材料特性之分析，堆肥化過程亦加以追蹤，完成之堆肥亦需進行實驗室分析包括礦化率之測定。良好之堆肥品質是安全、使用方便、價格合理、符合政府有關產製之規定。

誌謝

本文之完成承蒙中興大學土壤與環境科學系黃裕銘教授提供參考資料以供撰寫，謹表謝意。

第十三章　美國堆肥系統的現況

Dan F. Caldwell

美國華盛頓州立大學

摘要

『堆肥』一詞，在美國事實上包含了許多複雜的層面，從後院庭園的小型堆肥處理系統到大都會地區的主要都市固態廢棄物 (MSW, municipal solid waste) 處理計畫，而在美國東部地區實施或使用堆肥的實例，要比擁有較寬廣土地面積的西部區域來得早。許多有關廢棄物後續的事情常和其處理的費用有密切的關聯。當棄置於掩埋場的費用低於建置昂貴的堆肥處理系統時，通常仍會採用使用掩埋處理廢棄物的方式。甚至於某些時候，即使需要付出相當高的費用來清運廢棄物至較遠的距離去處理，掩埋方式依然被採用。

但是這些情況正在快速地轉變中，因為許多垃圾掩埋場逐漸遭政令機構強制關閉，而另一更單純的事實就是掩埋場己趨飽和而且再難尋得新的地方可供建立掩埋場。 在美國所實施的堆肥方式有許多種類，而有四種主要堆肥方式是目前在美國最常被使用的。『靜態堆置』 (static pile) 需要一段長時間的養成。『通氣靜態堆置』 (aerated static pile) 則是運用微生物過濾系統及強迫通入空氣來解決若干可能會產生臭氣的問題。『容器系統』 (in-vessel system) 是將可分解物質置入容器中並強制通入空氣以導入適量的氧氣。『乾草堆

列系統』(windrow system) 則有開放型及密封型兩種方式，端視可供使用的設施而定，更重要的是取決於沈積的量及環境因素。

『靜態堆置』被動或消極 (passive) 型相當於庭院堆肥或大型一點的堆疊，經由交錯堆疊覆置的方式來產生煙囪效應 (chimney effect)，使得空氣能夠通過堆肥堆置。這些小型的堆置並無法始終保持良好的碳-氮比例 (C:N) 或維持足夠的溫度來產生適當的堆肥，它們通常也需要一段較長的時間 (可長達一年) 來進行分解，而且也還可能無法分解地十分完全。如果沒有時常翻動這些堆置並導入氧氣的話，惡臭及其他的問題就很容易產生。厭氧狀態 (anaerobic condition) 一旦發生，令人生厭的惡臭隨即產生並釋放至整個大氣環境之中。

『通氣靜態堆置』常見於重視快速處理及氣味控制的大都會區域。大量適當混合且經篩選的物質被置入一網絡管路或多孔管道系統中，並經由
嚴密的監控確保適當的含氧量及濕度需求。這些系統需要電控的馬達及風扇在管路中推送 (push) 或排放 (pull) 空氣來維持一固定的優氧空氣來源，以提供細菌不斷的餵食供給，進而分解有機物質。氣體是經由通過一種稱作『微生物過濾器』的過濾媒介排放，這種物質通常是已成型的最終堆肥。在一段時間過後，當微生物過濾器不再具有過濾排氣的效能時，它可藉由退回堆肥程序再度回收。

『容器系統』係指在容器、貨櫃或建築物內包含了翻動程序，更精確地控制其環境，並用來達到類似與『通氣靜態

堆置』系統所要求的條件。這樣的設計提供了快速的翻轉時間進而加速完成堆肥程序。有些時候，它需投注很大的資本投資方得完成。

『乾草堆列系統』為目前在美國最廣泛被使用的一種堆肥方式，在某些地方，它可藉由既有的設備與人力來完成。許多畜牧場及加工廠裡平時已經在從事處理廢棄物工作的牽引機、卡車、載具還有人員，均可以和堆肥處理系統整合在一起。有些時候，廢棄物被運送至一堆肥區與其他獨立堆肥業者所處理的另一廢棄物流混合在一起，而特殊的枯葉堆列翻動設備被用來產生品質一致的產品。針對某些廢棄物質，由於市場或應用上的需求，其原料的準備、加工以及篩選可能都要再投資設備。

一、些華盛頓州立大學 (Washington State University) 的堆肥設施

華盛頓州立大學 (WSU) 的堆肥設施啟用於 1994 年 10 月。目前在四英畝的瀝青舖面上每年約有二萬五千碼的堆置堆肥產出。這個工作站擁有蓄水池及排流系統，設備則包括了一套 12 尺長的開叉式乾草翻動機、堆鏟機、兩部大卡車、一組可用來分離煤灰的振動式篩網及一套卡車上貨用的輸送帶。工作站裡僅雇有一位全日專職的操作人員及一位平均 3/4 日的卡車司機，其他的卡車司機只在堆肥完成而需要傾運時才來幫忙。用來製作堆肥的原料每日都會送達至堆肥場，糞肥及墊土是從動物飼養區經由人工清運而來，食物殘渣則由專門的

回收組織回收得來，這組織同時也收其他可供回收再利用的物質。這些廢棄物質均依照其濕度及其碳-氮比值分門別類。在堆列乾草堆肥時，加入部分的上述廢棄物質，同時使用下料機確保混合物的一致性。堆肥程序中的操作原理及指導原則均被嚴格地遵守以確保品質穩定的產品，程序中需要一次使用四斗（手）的濕料（氮元素）、四斗的乾料（碳元素），還有一斗的煤灰。利用翻動機將這些原料均勻混合並將一些較大的物體攪碎，然後靜置等待發熱而啟發微生物機制程序。整個過程約需要八到十週的時間來讓成品逐漸穩定，這樣的產品可能不太會完全達到『成熟，mature』(mesophillic state) ——種細菌嗜中溫的狀態）的階段，但卻在實際應用時非常的穩定。最終的堆肥成品被成堆地存放，直到它被應用於如：高爾夫球場、植物的墊土區域、農業用地或用作動物墊土，並且亦可售予小花店、庭園造景業者及水耕業者。

在這次的講演中，將對以下幾個重要的領域作一般性的討論：1. 計畫及堆肥場的描述。2. 管理層面。3. 流程管理方案。4. 病原體處理。5. 臭氣管制（理）。6. 員工保健及安全。7. 家居及公害管制方案。8. 緊急應變方案。9. 安全、社區關係及公共事務。10. 市場。

我也將報告我們整個運作過程的經過。事實上，在一開始我們就儘可能地去涵蓋我們能夠參與的部分，這對我們得以成功運作是非常重要的。

二、發展歷史

基於位處協助農業及天然資源之永續保固的中心地位，華盛頓州立大學回收及堆肥委員會於 1992 年 9 月召開第一次會議，討論並評估華盛頓州立大學在回收及堆肥方面的需求與利益。會議召開的部分起因是由於受到一份報告指出"南愛達華州的一位牧場農夫成功地將牧場中的糞料與草料製成堆肥並顯著地降低肥料的使用量"的鼓舞。同時該次會議也針對近年來華盛頓州強制回收及限制掩埋場等法令，以及對校園內廢棄物回收與堆肥要有更新、更前瞻作法的需求作出回應。我們的重點放在提供一個能長期解決 WSU 大量固態廢棄物的方案並把目標定在於 1995 年以前達到減量一半 (50 %)，這也符合美國政府的『廢棄物不能沒有計畫』(waste not want not plan) 及『政府掩埋棄置替代方案』(government options to landfill disposal, G.O.L.D.) 等指導原則。

這一次的會議所引發的熱烈程度竟有別於一般的校務會議，在隨後陸續召開的會議當中，與會者有惠門郡 (Whitman county) 、普門市 (City of pullman) 以及愛達華大學 (Idaho university) ，而華盛頓州立大學也有更多的人以專家身份加入，包括校園主要廢棄物流管制、教學研究、教職員團體及有從事回收與堆肥工作經驗的學校員工。一種"雙贏"及"可能"的意識態度隨即彰顯出來，大夥的目標是"我們共同的行動及成果將會大過所有單一成員所貢獻的總合"。

回收及堆肥委員會於 1992 年 12 月 10 ~ 11 日規

劃舉辦堆肥研討會，這在當時美國國內仍屬創舉。國際及區域的專家在會中介紹各種最先進堆肥技術，使得我們這個委員會能夠更積極地進行規劃來建立一個校園堆肥設施。委員會意識到校園裡需要一個完善週延的回收及堆肥計畫，委員們估計由校園內所產生的廢棄物量：煤灰、酪農產品、動物科學系與家畜醫藥系的牛隻糞便、經分離篩選的牛肉及固態乳酪品廢棄物、餐廳的食物殘渣、廢紙還有校園內的庭園枝葉，每年約有一萬六千公噸。根據這項估計，委員會評估如果將原本交由惠門郡掩埋場處理的上述廢棄物部分導向我們所規劃的堆肥設施來處理，則每年可為校方節省約二十萬美金的花費。此外，對於避免在未來必須提撥廢棄物儲存設施的經費亦可省下美金約二十萬元。

在 1993 年的四月，這項經費需求達 31.4 萬美金的堆肥設施建置計畫正式向校方商務部副總裁提出。計畫中提到這項堆肥計畫將能降低送往掩埋場處理的廢棄物量，同時也能提供對土地利用與園藝上有用的產品。無論是促進研究及教學或是符合政府 G.O.L.D. 的目標，甚至對提昇學校的形象等方面均有正面的助益。其中所提列的經費將用於堆肥基地的評估、整備以及相關設備的採購。

計畫獲得支持之後，委員會隨即向『土地利用委員會』爭取堆肥場地的使用許可。委員會裡的成員亦和校方『設施規劃部門』合作參與場區的設計工作，同時也向『環境衛生及安全單位』申請使用許可。在這當中，

委員們更緊密地與惠門郡的衛生部門和華盛頓州的環保單位保持接觸，這個工作相當地耗時耗力，需要成員通力合作方得完成。在 1993 年 12 月底前，大部分需要核可証明的都已獲准，於是在 1994 年的春、夏兩季，委員會著手進行工程招標與建設工作。委員們憑著個人經驗，同時四處訪視各地現有的設施與設備，在 1994 年夏天，花了 11 萬美金採購了一部自旋式的堆肥翻轉機。

為了得到經費支持，有一項必須達到的重點是：堆肥運作的經費必須由校方將原本交由惠門郡廢棄物轉運站處理改為堆肥處理所省下的錢來支付。此外，由學校發電廠所產生的煤灰亦是廢棄物處理重點。不過，這些煤灰被認定是為無害的固態廢棄物。為了進一步評估對作物生長與堆肥程序所可能造成的毒害，我們進行了一項煤灰與動物及食物廢棄物混合一起堆肥的小型初步研究。研究結果（刊登於"堆肥科學與使用", Compost Science and Utilization, 2 : 18 - 22）顯示煤灰可以被安全地混入堆肥中，而且並不有損於應用在土壤方面的效能。實驗室及田野測試的結果也顯現堆肥中含有煤灰，事實上有助於作物的生長，這樣的結果廣為科學性的社區及一般大眾所接受。

到了 1994 年 12 月，堆肥場開始運作並持續成功運轉至 1995 年，美國國內各地及校際間也對回收及堆肥運作愈發地產生濃厚興趣。為了提供教育傳承的機會，華盛頓州立大學在 1993 及 1994 的冬季，對環境科學、作物及土壤科學還有園藝系的 100 位大四學生

開了一門有關堆肥的課程。此外，我們也對普門市、華盛頓、愛達華及莫斯科小學，還有一家社區花園"卡沛爾農莊"舉辦許多相關回收及堆肥的研討會與延伸課程。我們的堆肥設施還有成果持續不斷地引起地方及全國媒體的報導或注意。於是在 1995 年，我們更安排了多次的設施參觀活動。

1995 年的春天，堆肥場的廢棄物處理能量很顯然地己不太足夠，因此擴建計畫再度向商務部副總裁提出。這項計畫立即獲准並於 1995 年秋季完成擴建。那時總計共有一萬噸的堆肥產出，用途包括華盛頓州立大學之實驗農場的肥料替代品、WSU 高爾夫球場、WSU 庭園景觀、動物的墊土及小型研究用的鋪土。到了 1997 年，市面上已可以買到我們的產品，最低購量為 150 立方碼，量大的話，售價還可再低些。

WSU 堆肥成分組成，WSU 所產的堆肥主要有動物糞便、乾草及煤灰，同時也含有少量溫室培養土、餐廳食物殘渣，樹木枝葉等。

三、建議之用途

※ 被覆土 - 保護土壞表層，調整表土溫度，降低表土水分耗散。

※ 與有機肥合用 - 改善土壤結構，增進水份保濕能力。

※ 中和劑 - 改善酸性土壤的 pH 值。

※ 培養土。

※ 用於喜愛酸性土壤的作物 - 小藍莓、杜鵑花。

高 C:N 比值的堆肥是由於其中含有較多成分比例的含碳原料（乾草及庭院枝葉）。在頭一年裡，氮元素的釋放也許會偏低，但是如果與正常土壤一起使用，那麼在往後的幾年，氮元素的釋放值就可望增加。對園藝工作者而言，建議加入適量的含氮補充物，而堆肥本身則是很好的磷及鉀的來源。如果用於覆土，則無需再加入氮肥。若是用於表土被覆，最好不要在種植作物所挖的坑洞內填超過 15 % 的 WSU 堆肥物質，因為這種堆肥不是用來取代坑洞內的土壤的。

四、堆肥物性

酸鹼值 (pH) : 8.5 ~ 9.1 。

導電度 (EC) : 2 ~ 6 mhos/cm 。

有機碳 (organic carbon) : 25 ~ 31 % (有機物質， 45 ~ 56 %) 。

有機氮 (organic nitrogen) : 0.8 ~ 1.1 % 。

碳-氮比 (C:N ratio) : 30 ~ 35.1 。

NH_4^+-N : 5 ~ 25 ppm 。

NO_3-N : 25 ~ 50 ppm 。

磷 (P) : 30 ~ 100 ppm 。

鉀 (K) : 2500 ~ 6500 ppm 。

第十四章 堆肥養分潛量評估及對作物生長之肥效

莊作權

中興大學土壤環境科學系教授

摘要

為使堆肥有效性發揮最大，必須使堆肥的養分礦化速率與作物養分吸收速率互相配合，並且瞭解堆肥的養分礦化潛量 (potential available nutrient, PAN) 大小，才能達到經濟且有效地使用堆肥。本文目的即針對堆肥養分潛量及對作物生長之肥效加以探討評估，以供日後研究及應用之參考。直接孵育法是目前較常用以估算堆肥可利用性養分潛力的方法之一。其方法是在土壤中直接添加堆肥予以孵育，而後定期分析土壤中無機養分變化量，用以估算堆肥可利用性養分潛力。由不同堆肥之孵育試驗結果顯示，有效性氮礦化量豬糞堆肥 210 mg/kg ，垃圾堆肥為 155 mg/kg ，換算成百分率豬糞堆肥約 12.2 % ，垃圾堆肥約 8.5 % 。直接孵育法測得之礦化量為淨礦化量。在土壤中固定化作用 (把無機養分變成有機成分，如微生物之繁殖) 和礦質化作用隨時都在進行中。當礦化作用大於固化作用，才有多餘的無機養分釋出，反之則消耗土壤中已有的無機養分。

另外利用化學方法分析有機質所含化合物成分種類及含量，以估算堆肥的養分礦化潛能，稱為化學分析指標法。由試驗已證實利用多種化學萃取法可分析得到堆肥可萃取性養

分量，並由玉米盆栽試驗得知利用碳酸銨分析所得堆肥可萃取性有機氮量與該堆肥之淨有效氮量可建立一迴歸模式 ($\ln Y = \ln a + b/X$ ， Y：玉米植體氮吸收量， X：碳酸銨萃取堆肥之有效性氮量， $r^2 = 0.673^{**}$) ，因此利用碳酸銨萃取法估測堆肥可利用性氮潛力頗具可行性。唯一般經由實驗室內發展出之估算迴歸式，必須經過田間試驗之修正，以提高迴歸式估算的實用性。

一般不同有機資材種類的礦化特性即不同，且經過堆肥化的有機質肥料之礦化速率即較為緩和，其礦化量也低於原來有機材料。且使用堆肥同時配合適量化學肥料，可以適量提供養分供作物吸收，對作物產量及品質有許多正面的效益。由試驗結果顯示施用有機複肥及堆肥對土壤有機質含量等肥力之增進與維持較化肥為佳，其中前者對土壤有效氮及後者對土壤磷、鉀含量之提升，效果極為明顯。對養分吸收及產量之提升則以使用有機複肥為佳。因此適當的使用有機複肥將可以兼顧增進土壤肥力及提供足量養分，供作物吸收利用，以及提升作物產量等多重功能。

中英文關鍵字：

堆肥 (compost) ，養分礦化潛量 (potential available nutrient) ，作物生長 (growth of crops) 。

一、前　言

『中國祖先很早即懂得種植作物，除發展犁具以犁田並中耕除草等助力，其主要原因在於懂得將動物排泄

廢棄物、植物之殘體，甚至收集野外植生加入農田（綠肥），以永保土壤肥力，使之不至因耕作而消耗（吳，1990），如此耕作制度合乎自然而儼然發展成一永續農業，而此永續農業自古即相傳下來，顯然這是中華民族和中華文化之所以能夠長遠繁延的主要原因之一。隨著『綠色革命』的發生，以及為了滿足不斷膨脹人口所需要的營養食物，農業發展遂以冀求單位面積增產為標的，形成集約化及單一作物式的農耕模式。惟由於未能將中國自然循環的理念帶入，又未能合理的施用化學性肥料及農藥等，將可能影響到農業生態，如土壤性質劣變等問題（黃，1991; 雷，1987），進而影響到土壤生產潛能（Bationo 與 Mokwunye，1991），且大量的農業廢棄物未能納入農業生產體系中循環利用，亦造成諸多環保及社會問題。

一般農業廢棄物均兼具污染性及資源性，如妥為處理，將能轉化為農業生產系統中的養分源（氮、磷、鉀）及能量源（碳）（黃，1991; 嚴，1989）。因此將農業廢棄物回歸于農田，不僅合乎資源再利用的自然法則，而且也是現今消納如此龐大量有機廢棄物之重要方向之一。然而施用未腐熟的有機物，容易造成土壤過度還原性及釋出毒性物質等問題（Harada，1990; Zocconi，1985）。因此有機廢棄物需經過適當的堆肥化處理以除去不良有機成分及毒性物質等限制作物生長的因子（Inoko，1982）。所謂堆肥化作用即利用廣泛分佈於自然界之微生物，在控制的條件下，將廢棄物中不穩定

的有機組成份加以分解，轉換為安定的腐植質成份，即腐熟的堆肥 (De Bertoldi 等，1985; Inoko，1982)。在堆肥化過程中，有機物基質中所含碳水化合物會迅速被微生物作用而分解，同時微生物之增殖必須吸收氮、磷等營養成份以合成微生物體質 (biomass) (Singh 與 Singh，1986)，所以堆肥化前有機物基質中應含有豐富的營養要素成份，並需將堆肥化前有機物基質中各種成份調整至較適宜比例範圍內，以利於微生物進行堆肥化作用。

由於有機質必須經過微生物之分解作用，才能礦化釋出養分供作物吸收利用。然則當有機質礦化釋出養分太早、或累積太多、或待作物生長旺期過後才釋出者，皆不利作物生長 (Hendrix 等，1992; Morachan 等，1972)。而且作物種類不同，需求養分成份自不同，若有機質肥料等肥料的養分成份能巧妙配合作物需求，則將使肥料的效益發揮大 (Hendrix 等，1992; White，1979)。唯當農田如長期施用單一種類之有機質肥料，極易造成土壤某些養分含量比例失衡 (Chang 等，1991; Harada，1990)，而當一次施用過量時，又可能形成土壤中養分累積及分解釋出過多之硝酸態氮等 (Jacobs，1990; Vivckanandan 與 Fixen，1990)。為了農田能長期消納有機廢棄物，且避免不利作物生長或形成二次污染，即應審慎地評估有機質肥料之礦化特性及釋出養分被作物吸收或殘留土壤等肥效特性 (Castellanos 與 Pratt，1981; Collins 等，1990)。

於今利用農業有機廢棄物之首要策略即應根據科學方加以研究，並探討堆肥在土壤中之礦化機制 (Bitzer 與 Sims， 1988; Douglas 與 Magdoff， 1991)，對土壤與作物生長之影響效應(Juang 與 Chang， 1992) 及其對環境影響等加以研究 (Benckiser 與 Simarmata， 1994; Jokela， 1992)，以使堆肥的效益發揮最恰當。本文目的即針對堆肥養分潛量及對作物生長之肥效加以探討評估，以期做為日後研究及應用之參考。

二、內容

本文內容將綜合若干試驗結果加以探討， (1) 直接孵育法應用以估算不同堆肥養分礦化潛能之試驗， (2) 化學萃取法應用以估算堆肥養分礦化潛能及其田間驗證試驗， (3) 使用有機複合肥料對水稻-玉米生育、產量及土壤肥力之影響。

(一)直接孵育法試驗

本試驗乃利用豬糞堆肥、垃圾堆肥於室內孵育箱進行 (莊等， 1995)，並配合化學肥料 (尿素) 及空白處理，主要是瞭解不同堆肥之氮素礦化潛量及礦化速率等特性。供試土壤採自台南、高雄及中興大學農場三處，分別稱取 10 g 風乾過 2 mm 篩土樣配合等量氮成分之肥料處理，調整土壤水份至飽和容水量之 60 %，再置於 35 ^{0}C 孵育箱中，且定時加水以維持一定含水量，再於第 0， 2， 4， 6， 8， 12 及 16 週分別取出，以 2 M KCl 抽

取測定有效性氮含量。由試驗結果顯示，在孵育開始時，豬糞堆肥之有效性氮含量最高（100 mg/kg 以上），隨後因微生物生物固定化而減少，之後再緩慢礦化釋出（remineralization），可見豬糞堆肥的施用不但可當速效性肥料，在作物生長期適時的供給養分，亦可當緩效性肥料以提昇土壤肥力。從最初期至第 2 週豬糞堆肥之有效性氮含量降低許多，除了生物固定化外，亦可能經由揮失的途徑損失。化肥處理在孵育最初期尚未水解或尿素還沒發揮效用，因此其有效性氮含量很低，几乎為零，之後尿素快速水解，有效性氮含量急遽上升，在第二週時水解速率達最高，往後雖水解仍繼續進行，速率已較為緩和，在有效性氮累積量或增或減，但變化並不明顯。

垃圾堆肥處理之氮礦化則以緩慢之速率進行，在高雄土壤從孵育最初到第 16 週有效性氮逐漸累積，至孵育終結達最高量約 43 mg/kg，相當於 8.1 % 的氮被礦化。台南土壤之最高礦化氮累積量（36.7 mg/kg）則出現在第 8 週，約可礦化出 6.9 %，8 週以後因微生物族群繁殖消耗部份無機態氮而逐漸地降低。興大土壤則在第 12 週（56.7 mg/kg）其礦化氮百分率約 10.6 %，可能由於興大土壤質地屬壤土，在適當水分及溫度下可礦化出較多的氮，隨後在孵育終結又因微生物固定化而降低。台南、高雄和興大三處土壤之空白處理礦化情形頗為一

致，均隨孵育時間而逐漸增加，至孵育期結束，其礦化氮百分率分別為 11.7 ， 7.8 和 9.1 % 。整體而言，影響氮素礦化的因子很多，本試驗已控制了水分、溫度兩項因子，除了與基質之組成分有很大的關係外，土壤質地亦扮演一重要角色。如豬糞堆肥在台南土壤孵育下，至孵育期結束，其礦化氮累積量几乎是化肥處理之一半，原因可能是其質地較砂，通氣較佳，環境適合微生物族群生長，有利礦化作的進行。反觀高雄及興大土壤，其豬糞堆肥和垃圾堆肥之淨礦化氮累積量甚至不及空白處理。空白處理之礦化趨勢，三種土壤雖頗為一致，不過其礦化氮百分率仍以台南土壤最高，約 11.7 % ，可見土壤本身之供氮容量是不可忽視的氮源。

利用好氣孵育試驗於不同期間所得之礦化氮，代入 Stanford (1972) 提出之運算式中，可計算不同處理的礦化潛能 （mineralization potential, No） 。今將化肥處理亦視之有機物，計算所得如表一所示。土壤質地不同，有機物之礦化潛能亦互異，空白處理以興大土壤最高 (121 ppm) ，化肥處理及垃圾堆肥亦是以興大土壤居冠，分別是 419 ppm 、 190 ppm ，而豬糞堆肥則以台南土壤表現較佳，礦化潛能為 227 ppm 。若不分土壤，僅就處理間的差異比較，則化肥處理 ＞ 豬糞堆肥 ＞ 垃圾堆肥 ＞ 空白處理。若將化肥處理、豬糞堆肥及垃圾堆肥之礦化潛能與空白處理比較，依序大約是空白處理的

4、2及1.5倍。空白處理中以台南土壤 (82 ppm) 最低，其原因可能與其土壤全氮、有機碳、有機質含量有關，均是三種供試土壤中之最低者所致。Saito 與 Ishii (1987) 指出氮礦化潛能與土壤全氮含量有關，土壤全氮含量愈高，其礦化潛能愈大，但並無一定比例關係，而且有加堆肥處理者其礦化潛能要較未加堆肥處理者出 2 ～ 3 倍左右。將礦化潛能 (No) 代入 $\log(No - Nt) = \log No - k/2.303(t)$ 中，求得斜率再乘 2.303 即可得表二之礦化速率常數 (mineralization rate constant, k)。不同土壤及不同處理間所得礦化速率常數變異很大，可能是本試驗所採用之孵育方法與前人試驗 (Stanford,1972; Castellanos 與 Pratt，1981) 採用之淋洗管淋洗以獲取礦化氮量，再逐次累加的方式不同所致。整體而言，以興大土壤之 k 值較大 (0.307)，處理間以化肥處理之 k 值較小 (0.023 ～ 0.192)，究其因乃尿素在孵育期之前二週已幾乎完全水解，爾後之變化不大，故導致所甫礦化速率常數偏低。因此礦化潛能愈高，通常其供氮容量亦愈大，但仍須配合礦化速率及作物生長期所需，方能真正評估有機質肥料之肥效，否則空有很大的礦化潛能，若礦化速率很低，恐有供不應求之虞。依據本孵育試驗結果顯示，利用孵育試驗可以適當測定不同堆肥之養分礦化潛量及礦化速率等特性，且經由作物栽培試驗可以再適當予以修正，以期能應用在不同土壤之

實際栽培。

表一、三種不同土壤之礦化潛能

	臺南	高雄	興大	平均
處理	ppm			
空白處理	82	101	121	101
化肥處理	374	392	419	395
豬糞堆肥	227	180	221	209
垃圾堆肥	131	144	190	155

莊等， 1995

表二、三種不同土壤之礦化速率常數

	臺南	高雄	興大
處理	$week^{-1}$		
空白處理	82	101	121
化肥處理	374	392	419
豬糞堆肥	227	180	221
垃圾堆肥	131	144	190

莊等， 1995

(二)化學萃取法試驗

由於許多研究指出單就有機物所含之要素成分尚不足以作為有機質肥料的礦化潛能之指標，而與其有機組成之種類及含量有密切關聯 (Collins

等，1990; Fox 等，1990)。由一般有機物在堆肥化中及堆肥在土壤中轉化之組合模式顯示，于一般作物生育期間 (大多約為 3 ～ 5 個月)，有機物或堆肥成分中可供微生物礦化分解之主要化合物部分，可歸類屬於無機及易分解有機部分 (Jacobs，1990)，如能發展出一種適當的化學萃取方法足以正確地將堆肥成分中易分解有機成分及無機部分加以分析定量，即能適切地估算出有機物及堆肥之可利用性養分潛力。因此本試驗即利用化學萃取方法以萃取分析堆肥中可利用性養分含量，再經由堆肥可利用性養分含量與玉米植體養分吸收量之分析，以發展出能適當的描述堆肥有效養分潛能之數學迴歸模式，以期能適當的描述施用堆肥之有效養分潛能與玉米生育狀況之實質關係。

本試驗之化學萃取劑選用 1 M 碳酸銨及 0.1 M 氫氧化鈉，其萃取方法與步驟參照如蔡等 (1995) 研究報告。由測得多種堆肥之可萃取性有機成分含量顯示，以 1 M 碳酸銨萃取不同堆肥之可萃取性有機氮含量約為 1727 ～ 5801 mg/kg，可萃取性有機磷含量約為 249 ～ 826 mg/kg，可萃取性有機碳含量約為 26 ～ 55 g/kg，以 0.1 M 氫氧化鈉萃取不同堆肥之可萃取性有機氮含量約為 4528 ～ 7654 mg/kg，可萃取性有機磷含量約為 390 ～ 1682 mg/kg，可萃取性有機碳含量約為 76 ～ 121 g/kg，顯然以 0.1 M 氫氧化鈉萃取堆肥所得之有

機成分含量高於 1 M 碳酸銨之萃取量。一般為期能估算有機質的可利用性養分潛力，可先利用不同化學方法分析有機質肥料中可礦化之有機組成分含量，再與施用有機質肥料之作物養分吸收量與土壤肥力反應相互探討，並據以建立適當的迴歸式予以評估 (Bitzer 與 Sims，1988; Sikora 與 McCoy，1990)。因此本節討論重點即為探討以化學萃取法所得之堆肥可萃取性有機氮量與該堆肥處理在玉米生育期間的淨有效氮量之間的關係。Schaetzl 等 (1994) 研究報告中曾列舉出適用於描述土壤中會隨時間變化之作用機制 (soil chronofunction) 的 11 種數學模式。其中以 $\ln Y = \ln a + b/X$ 迴歸模式頗類似於本試驗所顯示不同堆肥可萃取性有機氮量與該堆肥在玉米生育期間淨有效氮量之關係，表三即顯示利用此迴歸模式於不同化學萃取法所測得堆肥可萃取性有機氮量與該堆肥在玉米生育期間淨有效氮量之分析結果，其中由氫氧化鈉萃取堆肥之可利用性氮潛力與堆肥淨有效氮量之相關性 ($r^2 = 0.587^{**}$) 可達極顯著水準,由碳酸銨萃取堆肥之可利用性氮潛力與堆肥淨有效氮量之相關性 ($r^2 = 0.673^{**}$) 可達極顯著水準，由全氮作為估測堆肥之可利用性氮潛力與堆肥淨有效氮量之相關性 ($r^2=0.605^{**}$) 可達極顯著水準。其中以碳酸銨萃取法所得迴歸式之相關係數最高，且其迴歸式參數之變異性相對較低，又驗證以碳酸銨萃取法所得堆肥可利用性氮含量與該堆

肥栽種玉米所得之堆肥淨有效氮量最接近，顯然以碳酸銨萃取法估測堆肥可利用性氮潛力較具可行性。

表三、利用不同化學萃取法所測得堆肥可萃取性氮含量與堆肥在玉米生育期間淨有效氮量之迴歸分析 [a]

PAN[b]	R squared	Constant	X coefficient	Y max.
NN	0.587**	7.01 ± 0.30	- 374 ± 74	1112 ± 162
AN	0.673**	6.93 ± 0.31	- 142 ± 29	1021 ± 105
TN	0.605**	7.08 ± 0.30	- 1750 ± 336	1189 ± 228

a: regression $\ln Y = \ln A + B/X$, Y: estimated net mineralized N, X: potential available N of compost (PAN).

b: NN, AN, and TN means the PAN determined from chemical indices of 0.1 M NaOH extr. N, 1 M $(NH_4)_2CO_3$ extr. N, and Total N, respectively.

蔡等， 1995

由於一般經由實驗室內發展出之估算迴歸式，必須經過田間試驗之修正，以提高迴歸式估算的實用性 (Bitzer 與 Sims， 1988; Vigil 等， 1991)。因此有必要針對先前試驗所發展出之數學迴歸模式實施田間驗證工作，並據以修正，以期能更適當的描述田間施用堆肥之礦化特性與玉米生育及產量之

實質關係。本田間試驗分別于彰化縣大村鄉（粘板沖積土鹿港系）及台中縣外埔鄉（紅壤陳厝寮系）實施，試驗用堆肥為太空包雞糞堆肥 (MC)，堆肥成分之氮含量為 2.23 %，磷含量為 0.44 %，鉀含量為 1.41 %，碳含量為 37.5 %，pH 值約為 7.3。以碳酸銨萃取法所測得 MC 堆肥之可萃取性有機氮量為 3,422 mg/kg，可萃取性有機碳量為 51g/kg。由玉米抽穗期植株養分吸收量及乾物重試驗結果顯示（表四），以大村試區植 株乾物重而言，MC 堆肥用量 100t/ha 處理（試驗 3）之 184g/plant 最高，顯著地高於其它處理者，其次分別為化肥處理（試驗 2）的 170g/plant、堆肥用量 70t/ha 處理（試驗 4）的 163 g/plant 及堆肥用量 130 t/ha 處理的 157 g/plant，以上三處理間差異不顯著，另以對照處理（試驗 5）的 87 g/plant 最差。以植株氮吸收量而言，仍以 MC 堆肥用量 100 t/ha 處理之 3,599 mg/plant 最高，顯著地高於其它處理者，其次分別為化肥處理的 3,276 mg/plant、堆肥用量 70t/ha 處理的 3,135 mg/plant 及堆肥用量 130t/ha 處理的 3,025 mg/plant，以上三處理間差異不顯著，另以對照處理的 1,454 mg/plant 最差。其中對照處理所顯示即為原土壤有機質的礦化特性，另以最高氮吸收量之 3,599mg/plant 而言，相當於每公頃 170 kg 的氮吸收量，此值與張 (1992) 之田間試驗玉米最高氮吸收量 171 kg/ha 之結果相

似。另外其它磷、鉀、鈣及鎂吸收量方面亦多以堆肥用量 100 t/ha 處理最高。

表四、大村試區玉米抽穗期植株養分吸收量乾物重及成熟期產量

處理	地上部乾重[a]	地上部養分吸收量[a]					產量[b]
		氮	磷	鉀	鈣	鎂	
	g/plant	-------------- mg/plant				--------------	ton/ha
1	87c[z]	1454c	512c	2038d	864b	401c	4.71c
2	170b	3276b	783b	2886c	1413a	650b	7.61b
3	184a	3599a	876a	4206a	1455a	711a	8.78a
4	163b	3135b	829ab	3403b	1405a	610b	8.67a
5	157b	3025b	784b	3796b	1415a	593b	8.25ab

a: 抽穗期採樣。 b: 收穫期採樣。

z: 同行數字若英文字母相同則差異不顯著 ($p > 0.05$, Duncan's multiple range test)

蔡等,1998.

另由外埔試區結果顯示（表五），在植株乾物重方面，以 MC 堆肥用量 100 t/ha 處理之 147 g/plant 及堆肥用量 130 t/ha 處理的 145 g/plant 最佳，顯著地高於其它處理者。其次分別為化肥處理的 130 g/plant 及堆肥用量 70 t/ha 處理的 110 g/plant ，以對照處理的 60 g/plant 最差。以植株氮

吸收量而言，則以 MC 堆肥用量 130 t/ha 處理的 2,735 mg/plant 最高，其次分別為堆肥用量 100 t/ha 處理之 2,284 mg/plant 、化肥處理的 2,074 mg/plant 、堆肥用量 70 t/ha 處理的 1,762 mg/plant 及對照處理的 1,012 mg/plant ，以上五處理間差異顯著。另外其它如磷、鉀、鈣及鎂吸收量方面亦多以堆肥用量 130 t/ha 處理最高。

表五、外埔試區玉米抽穗期植株養分吸收量乾物重及成熟期產量

處理	地上部乾重[a]	地上部養分吸收量[a]					產量[b]
		氮	磷	鉀	鈣	鎂	
	g/plant	mg/plant					ton/ha
1	60d[z]	1012d	186c	839d	413d	204c	1.85c
2	130b	2074b	274b	1789c	821b	339b	5.83b
3	147a	2284b	439a	2328b	879ab	469a	6.44a
4	110c	1762c	296b	2101bc	755c	427a	5.99b
5	145a	2735a	434a	2720a	926a	449a	6.63a

a: 抽穗期採樣。 b: 收穫期採樣。

z: 同行數字若英文字母相同則差異不顯著

(p > 0.05, Duncan's multiple range test)

蔡等,1998.

由大村試區玉米產量分析顯示（表四），依玉

米產量高低分別為 MC 堆肥用量 100 t/ha 處理之 8.78 t/ha 、堆肥用量 70 t/ha 處理的 8.67 t/ha 、堆肥用量 130 t/ha 處理的 8.25 t/ha 、化肥處理的 7.61 t/ha 及對照處理的 4.71 t/ha 最差。其中堆肥用量處理間差異不顯著，唯施用堆肥對玉米產量之效益顯著地高於化肥處理約 8.4 ～ 15.4 % 。由外埔試區玉米產量分析顯示 (表五) ，依玉米產量高低分別為 MC 堆肥用量 130 t/ha 處理之 6.63 t/ha 、堆肥用量 100 t/ha 處理的 6.44 t/ha 、堆肥用量 70 t/ha 處理的 5.99 t/ha 、化肥處理的 5.83 t/ha 及對照處理的 1.85 t/ha 最差。其中堆肥用量 130 及 100 t/ha 處理間差異不顯著，唯以上兩處理效益顯著地高於堆肥用量 70 t/ha 處理及化肥處理者。

綜合以上結果顯示，相同處理在兩試區的效應不盡相同，其原因應與兩試區土壤特性不同有關，以試驗前土壤有機質含量為例，大村試區土壤有機質含量為 32.4 g/kg ，外埔試區土壤有機質含量為 25.2 g/kg 。所以在相同空白對照處理下，大村試區玉米抽穗期植株氮吸收量為 1454 mg/plant ，產量為 4.71 t/ha ，外埔試區玉米抽穗期植株氮吸收量為 1,012 mg/plant ，產量為 1.85 t/ha ，其中玉米抽穗期植株氮吸收量，大村試區約高於外埔試區的 43.7 % ，而大村試區玉米產量約高於外埔試區的 154 % ，顯然大村試區粘板岩沖積土的生產潛力即

顯著地高於外埔試區紅壤者。莊等 (1993) 在農田土壤供氮能力之研究指出台南土壤約為 32 ～ 38 %，高雄土壤約為 27 ～ 40 %， 台中興大土壤約為 35 ～ 38 %。顯然不同土壤其供氮能力即不同，且土壤的供氮能力仍是不可忽略的來源。另由堆肥不同用量與玉米產量之迴歸分析顯示，大村試區的玉米產量在堆肥用量約 90 t/ha 時可得一最大估測值 8.87 t/ha，外埔試區之玉米產量則在試驗堆肥用量範圍內呈現持續上昇之趨勢，在堆肥用量 130 t/ha 之玉米產量估測值約為 7.23 t/ha，顯然不同土壤的生產潛能即有所差異，因此利用碳酸銨萃取法估算堆肥有效性氮含量，如經由田間試作酌以修正，將頗簡便且適用於實際田間栽培。

(三)使用有機複合肥料試驗

本試驗透過埤頭及名間二試區之水稻及玉米田間栽培試作 (莊等， 1997; 莊等， 1998)，比較施用有機複肥及堆肥與化肥對作物產量與土壤肥力之影響。彰化埤頭為水稻試區及南投名間為水稻-玉米輪作試區，試驗處理分為施用化學肥料、豬糞複合肥料、牛糞複合肥料、雞糞複合肥料、豬糞堆肥、牛糞堆肥、雞糞堆肥等七種處理。四重複，完全逢機試驗設計。試驗結果顯示埤頭試區土壤有機質比植前增加較明顯，但名間試區較不顯著。其中埤頭試區土壤施用三種複肥區之有機質顯著增加，尤以牛

糞複肥有機質含量 4.02 % 增加最為明顯。土壤有效性磷方面，埤頭試區以豬糞複肥對土壤有效性磷之提升較化肥顯著增加，其中以豬、牛、雞複肥區分別為 13.5 、 12.4 、 13.4 mg/kg ，比化肥區 10.6 mg/kg 顯著增加。名間試區水稻於分蘗期，豬糞、牛糞、雞糞複肥區皆比化肥區較為提升土壤有效性磷含量。土壤交換性鉀，則以豬、牛、雞複肥區，分別為 76.6 、 88.6 、 73.5 mg/kg ，較化肥 71.6 mg/kg 為高。玉米生長期間，土壤有效性養分供應，在成熟後也是以複肥區處理優於堆肥區處理。名間試區玉米之土壤有效性磷及交換性鉀，在膝高期到成熟期，牛糞複合肥料皆比其他有機複肥及化肥提供較多之養分，因此名間試區土壤施用牛糞複肥應具有較有利於作物生長及增進土壤地力之效益。土壤 pH 之變化在旱作玉米試區土壤中因硝化作用，較植前土壤下降，至成熟期下降比水稻區為大；水稻區 pH 先上升後在下降，最後因緩衝作用而趨於平衡，變化不大。其中玉米試區土壤下降程度比水稻試區為大，前者因硝化作用較強；後者因緩衝作用漸趨於平衡，較能維持土壤中性。

土壤有效性氮及硝酸態氮之變化，不同水稻試區土壤在生長期變化不同，埤頭試區以抽穗期較高，且高於名間試區甚多，名間試區則在成熟期時累積土壤中，顯然對水稻養分吸收及產量形成不利，這也是埤頭試區水稻高產量之原因。名間玉米試區土

壤有效性氮及硝酸態氮膝高期最高，抽穗期仍維持相當高，對玉米養分吸收及提高產量有利。銨態氮之變化小，各肥料處理間亦差異不大，影響肥力很小。土壤有效性氮之變化主要受硝酸態氮變化之影響，埤頭水稻之抽穗期土壤硝酸態氮含量高於名間試區，且名間水稻試區在成熟期有累積現象，都對埤頭水稻養分吸收較高及產量較高有關。名間玉米試區土壤硝酸態氮及有效性氮且以膝高期最高，抽穗期仍能保持相當含量，此對玉米高產量有關。綜合試驗結果顯示，無論水稻或玉米試區，化肥處理對作物提高養分含量較有機肥料區為佳，惟有機複肥及堆肥對提升土壤肥力之增進與維持較化肥為佳。但對土壤氮磷鉀肥力，有機肥料處理較肥處理較能提升，尤其土壤磷鉀肥力。同時有機複肥區之提升土壤氮之能力較堆肥為佳，但堆肥處理對土壤磷鉀提升能力較有機複肥為佳。

由作物產量結果顯示，埤頭試區之水稻產量，豬糞複肥區 7529 kg/ha 、牛糞複肥 7215 kg/ha 及雞糞複肥區 7998 kg/ha ，皆比相對之豬糞堆肥區 6556 kg/ha 、牛糞堆肥區 6447 kg/ha 及雞糞堆肥區 6997 kg/ha 為高。名間試區水稻產量僅雞糞複肥區 4378 kg/ha 比雞糞堆肥區 3706 kg/ha 為高,，其餘兩種複肥區之產量則未達顯著差異。名間玉米試區玉米產量以豬糞複肥區 8172 kg/ha 、牛糞複肥區 8556 kg/ha 及雞糞複肥區 7992 kg/ha ，分別比豬

糞堆肥區 78752 kg/ha 、牛糞堆肥區 8136 kg/ha 及雞糞肥區 7380 kg/ha 為高；其中豬糞複肥區、牛糞複肥區及牛糞堆肥區之產量均比化肥區 8076 kg/ha 為高。埤頭及名間水稻試區，分析收穫後之穀粒中養分，化肥處理區氮含量較其它有機複合肥料處理區為高，但磷鉀含量均以有機複合肥料及堆肥處理高於化肥處理，而有機複肥及堆肥處理間並無顯著差異。名間玉米試區不同生長期間葉片中含氮量各有機肥料處理間，以及與化肥處理均無顯著差異。葉片中磷、鉀含量在膝高期及成熟期各有機複肥及堆肥處理皆高於化肥處理，並以有機複合肥料處理高於相對之堆肥處理，顯示有機複合肥料提供磷鉀養分之優勢。有機複合肥料之施用，對作物產量之增加、土壤之地力增進、施用成本之降低，以及減少污染等優點觀之，其優越性應可肯定，建議擴大推廣施用。

表六、埤頭及名間試區施用不同有機肥料對水稻及玉米產量之影響

	水稻				玉米	
	埤頭		名間		名間	
肥料處理	產量	指數	產量	指數	產量	指數
	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%
化學肥料	945a[†]	100	5220a	100	8076b	100
豬糞複肥	7529bc	80	4454b	85	8172b	101
牛糞複肥	7215c	76	4078bc	78	8556a	106
雞糞複肥	7998b	85	4378bc	84	7992bc	99
豬糞複肥	6556d	69	4458b	85	7872bc	98

†: 同行數字若英文字母相同則差異不顯著

($p > 0.05$, Duncan's multiple range test)

莊等,1997

參考文獻

1.吳聰賢 1990 農業史 p.15-32. 黎明文化事業出版。

2.林家棻、李子純、張愛華、陳卿英 1973 長期連用同樣肥料對於土壤化學性質與稻谷收量之影響。農業研究 22(4):241-262。

3.林鴻淇、王一雄 1986 廢棄物堆肥化過程中堆肥品質特徵及其檢定方法之研究。行政院衛生署環境保護局研究報告，台北，台灣。

4.莊作權 曾國力 蔡宜峰 陳鴻基 1998 施用有機複合肥料

及堆肥對輪作作物產量及不同生長期土壤肥力變化之影響 土壤與環境 1(3):185-200。

5.莊作權 曾國力 蔡宜峰 陳鴻基 1997 施用有機複合肥料及堆肥對輪作作物產量及不同生長期養分吸收之影響 農林學報 46(4):83-96。

6.莊作權 張宇旭 陳鴻基 1995 有機質肥料之氮素礦化量預測 "有機質肥料合理施用技術研討會專刊" p.228-241 台灣省農業試驗所特刊第 50 號。

7.莊作權 張宇旭 陳鴻基 1993 有機質肥料養分供應能力之評估 中華生質能源學會會誌 3-4:132-146。

8.黃山內 1991 豬糞堆肥在作物生產之利用 "豬糞處理、堆肥製造使用及管理研討會論文專輯" p.1-18 台灣省畜產試驗所編印(1991)。

9.張宇旭 ：施用有機質肥料對作物肥性及氮礦化之研究。國立中興大學土壤學研究所碩士論文(1992). 。

10.蔡宜峰 莊作權 黃裕銘 1998 利用碳酸銨萃取法估算堆肥有效氮含量應用在玉米栽培之研究 中國農業化學會誌 36(5):493-502。

11.蔡宜峰 莊作權 黃裕銘 1995 堆肥有效養分潛能估測之研究 "有機質肥料合理施用技術研討會專刊" p.242-258 台灣省農業試驗所特刊第 50 號。

12.雷通明 1987 從土壤學觀點談農業現代化 中華水土保持學報 18(2):1-12。

13.嚴式清 1989 畜牧廢棄物在有機農業之利用 "有機農業研討會專集"，p.245-249 台中區農業改良場特刊 16 號。

14.Bationo, A., and A. U. Mokwunye. 1991. Role of manures and crop residue in alleviating soil fertility constraints to crop production: With special reference to the Sahelian and Sudanian zones of West Africa. Fertilizer Research 29:117-125.

15.Benckiser, G., and T. Simarmata. 1994. Environmental impact of fertilizing soil by using sewage and animal wastes. Fertilizer Research 37:1-22.

16.Bitzer, C. C., and J. T. Sims. 1988. Estimating the availability of nitrogen in poultry manure through laboratory and field studies. J. Environ. Qual. 17:47-54.

17.Castellanos, J. Z., and P. F. Pratt. 1981. Mineralization of manure nitrogen-correlation with laboratory indexes. Soil Sci. Soc. Am. J. 45:354-357.

18.Chae, Y. M., and M. A. Tabatabai. 1986. Mineralization of nitrogen in soil amended with organic wastes. J. Environ. Qual. 15:193-198.

19.Chang, C., T. G. Sommerfeldt, and T. Entz. 1991. Soil chemistry after eleven annual application of cattle feedlot manure. J. Environ. Qual. 20:475-480.

20.Collins, H. P., L. F. Elliott, R. W. Rickman, D. F. Bezdicek, and R. I. Papendick. 1990. Decomposition and interactions among wheat residue components. Soil Sci. Soc. Am. J. 54:780-785.

21.De Bertoldi, M., G. Vallint, A. Pera and F. Zucconi. 1985.

Technological aspects of composting including modelling and microbiology. In: Composting of Agricultural and Other Wastes. (K. R. Gasser ed.). pp.27-41. Elsevier Applied Science Publishers. London and New York.

22.Douglas, B. F., and F. R. Magdoff. 1991. An Evaluation of nitrogen mineralization indices for organic residues. J. Environ. Qual. 20:368-372.

23.Fox, R. H., R. J. K. Myers, and I. Vallis. 1990. The nitrogen mineralization rate of legume residues in soil as influenced by their polyphenol, lignin, and nitrogen contents. Plant and Soil. 129:251-259.

24.Harada, Y. 1990. Composting and application of animal wastes. ASPAC/FFTC Extension Bulletin No.311:19-31.

25.Hendrix, P. F., D. C. Coleman, and D. A. Crossley, Jr. 1992. Using knowledge of soil nutrient cycling processes to design sustainable agriculture. Integrating Sustainable Agriculture, Ecology, and Environmental Policy 2:63-82.

26.Inoko, A. 1982. The composting of organic materials and associated maturity problems. ASPAC/FFTC Technical Bulletin No.71:1-20.

27.Jacobs, L. W. 1990. Potential hazards when using organic materials as fertilizers for crop production. ASPAC/FFTC Extension Bulletin No. 313:1-29.

28.Jokela, W. E. 1992. Nitrogen fertilizer and dairy manure effects on corn yield and soil nitrate. Soil Sci. Soc. Am. J.

56:148-154.
29.Juang, T. C., and Y.S.Chang.1992. Effect of application of compost and manure on crop growth, nitrogen mineralization and nitrogen uptake under rice-corn rotation. Soil and Fertilizers in Taiwan. p.18-39.
30.Morachan, Y. B., W. C. Moldenhauer, and W. E. Larson. 1972. Effects of increasing amounts of organic residues on continuous corn. I .Yields and soil physical properties. Agron. J. 64:199-203.
31.Saito, M., and K. Ishii. 1987. Estimation of soil nitrogen mineralization in corn-grown fields based on mineralization parameters. Soil Sci. Plant Nutri. 33:555-566.
32.Schaetzl, R. J., L. R. Barrett, and J. A. Winkler. 1994. Choosing models for soil chronofunctions and fitting them to data. European Journal of Soil Science 45:219-232.
33.Sikora, L. J., and J. L. McCoy. 1990. Attempts to determine available carbon in soils. Biol. Fertil. Soils. 9:19-24.
34.Singh, Y. P., and C.P. Singh. 1986. Effect of different carbonaceous compound on the transformation of soil nutrients. I .Immobilization and mineralization of applied nitrogen. Biol. Agric. Horti., 4:19-26.
35.Stanford, G., and S. J. Smith. 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 36:465-472.
36.Vigil, M. F., D. E. Kissel and S. J. Smith. 1991. Field crop recovery and modeling of nitrogen mineralized from labeled

sorghum residues. Soil Sci. Soc. Am. J., 55:1031-1037.

37.Vivckanandan, M., and P. E. Fixen. 1990. Effect of large manure applications on soil P intensity. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 21:287-297.

38.White, R. H. 1979. Nutrient cycling. p.129-143. In Introduction to the principles and practice of soil science. Blackwell Scientific Publications. Oxford. London.

39.Zocconi, F., A. Monaco, M. Forte, and M. de. Bertoldi. 1985. Phytotoxins during the stabilization of organic matter.p.73-86. *In* J. K. R. Gasser (ed.) Composting of Agricultural and Other Wastes. Elsevier. London & New York.

第十五章 堆肥施用策略

王鐘和

台灣省農業試驗所

一、前言

廣義的「肥料」是指能肥田之物料，一切物料無論是施於土壤或植物之葉部，能直接提供作物營養分或能改良土壤之物理、化學與生物性質，有益作物生長及營養元素之吸收，增加作物之產量，或改善產品之品質者，均稱為肥料。由於氮、磷、鉀三要素肥料影響作物生長量，收穫物對生長量之比例（即收穫指數）及收穫物的品質至大，故其施肥量、施肥方法及使用肥料種類之選擇等乃為施肥上之重要課題。

根據八十三年台灣農業年報，主要農產廢棄物和禽畜糞量，年約有 1,478 萬公噸，若以 35 % 可製成堆肥，估計年生產量約 517 萬公噸，而全年禽糞尿中之三要素含量達氮素 15.2 萬公噸，磷酐 17.2 萬公噸及氧化鉀 11.6 萬公噸，分別佔全年化學肥料三要素量之 58 %、253 % 及 110 %，實為國家寶貴資源，但目前禽畜糞用來製造堆肥者，約只有 10.7 %，尚有近 90 % 之禽畜糞未善加利用而排放到河川中，不僅污染環境，資源浪費亦甚為可惜，而主要農產廢棄物亦只有 2.9 % 用於製造堆肥。

堆肥是有機質肥料的一種。有機質肥料之功能甚多，諸如：改善土壤物理性，包括增進土壤團粒構造、保水力、通氣性、調節土壤溫度，降低總體密度及土壤流失等；對土壤化學性亦有助益，包括提高陽離子交換能量、增加營養分儲存能力、增大緩衝能力等。此外，並可使土壤微生物相多樣化，微生物活性增加，減少病原菌生長。因此普遍地被施用於作物栽培上，藉以改善農田土壤之理化及生物性質，提高作物產量與品質。

二、堆肥施用一般要領

(一)考量堆肥之特性

有機質肥料種類繁多，大致可分為難分解型與易分解型兩種：難分解型一般是以稻殼、樹皮、木屑、作物殘株等堆製腐熟而成之有機質肥料，含豐富纖維質，但氮、磷、鉀三要素含量較少，因其在土壤中的分解較慢，適宜用在改良土壤理化性質和促進土壤微生物活性，使作物根部有良好生長環境。易分解型一般以禽畜糞、動物性廢棄物、油類等腐熟而成之有機質肥料，含纖維質較少，氮、磷、鉀三要素含量高，其所含養分在土壤中分解釋放較快。施用時應注意其釋出之要素養分量，相對的減少化肥要素用量。此外，連年施用有機質肥料後，除了當作所施有機質肥料之可礦化養分量外，亦要評估土壤中累積之既有有機質之可礦化養分量，以二者之和作為預期可由有機質供給之要素量。

(二)考量作物種類與需肥特性

生產潛力較大之品種需肥量多，短期作物如蔬菜作物養分供應量要充足（尤其氮肥），長期作物如果樹作物要注重土壤性質改善，促進根系活性，以及配合作物生育分化階段，調節養分供應。

(三)注意堆肥品質

堆肥如未經發酵完全，施用後易因繼續在土壤中發酵，產生危害作物根部之物質，滋生病原菌及雜草叢生等現象，故在施用前要注意其品質。

(四)宜當基肥使用

堆肥施用至土壤中，除了原先含有之少量無機態養分外，大部份的養分需經土壤中之微生物分解後，才能釋出供作物使用，且其養分係緩慢釋放，因此，宜當基肥使用，種植前翻犁，使充分與土壤混合，且避免與石灰資材同時混合施用，避免銨態氮以氨氣狀態揮散損失。

(五)配合良好的水分管理

土壤的水分保持適宜狀態，有利於微生物活動分解堆肥釋出養分，且有益於作物根系吸收養分，提高堆肥養分之利用率。

三、有機質肥料肥效之檢討

營養元素係以簡單之離子型態被作物吸收，有機質肥料之營養成分須經土壤中微生物之分解礦化釋出無機養分，作物才得以吸收，有機質肥料在土壤中的礦化作

用除了其本身之性質外尚受到許多因子影響，諸如土壤環境特性（溫度、水分、質地、pH值、有機質含量等）、氣候環境（溫度、降雨量等）、耕作制度、施用量及施用時期等因素之影響。一般而言，有機質肥料的肥效，係以肥料要素，尤以氮素之供應為主。堆肥等有機質肥料在施用初期因礦化率較低，肥效率低於施肥量相當的化學肥料，連年施用後，因其分解殘餘之有機質逐漸累積，礦化率漸增，肥效率才漸接近於施肥量相當之化學氮肥。此累積之礦化率，理論上不超過 100% ，故其肥效率在本質上並不超過施肥量相當之化學肥料（圖一）。式一係假設有機質肥料之年礦化率為 0.9 (90 %)，式 2 則假設為 0.1 (10 %)，長年施用後累積之礦化率均趨近於 1 (100 %)。

$$0.9 \times (1 + 0.1 + (0.1)^2 + \ldots\ldots + (0.1)^n)$$

$$= 0.9 \times \frac{1 \times (1 - (0.1)^n)}{1 - 0.1} \fallingdotseq 1 \text{ ---------(式一)}$$

$$0.1 \times (1 + 0.9 + (0.9)^2 + \ldots\ldots\ldots + (0.9)^n)$$

$$= 0.1 \times \frac{1 \times (1 - (0.9)^n)}{1 - 0.9} \fallingdotseq 1 \text{ -----(式二)}$$

圖二係田中氏檢討日本 Aomori 農事試驗場不同用量堆肥/化學氮肥連用試驗各處理區第 22 － 26 年 5 年間之平均收量所繪。由該圖可見堆肥和化肥配合施用之各區收量（反應曲線 a）略高於化肥單用區（反應曲線 b），而以堆肥 18.7 t/ha 和化肥 N 75 kg/ha 配合施用區獲得最高收量。惟 18.7 t/ha 堆肥含 N 95 kg，如將此氮素含量亦加算於化肥氮素之用量，則收量之氮素反應曲線 a 順著 X 軸位移 N 95 kg/ha，成為反應曲線 a'。再看獨施堆肥 18.7 t/ha 區收量為 4 t/ha，係與獨施化肥 N 54 kg/ha 區之收量相同，可見堆肥氮素之肥效率為化肥氮素之 60％。如將反應曲線 a 順著 X 軸只位移 N 56 kg/ha 則成反應曲線 a"。反應曲線 c 因未設更多的化肥 N 用量處理，無從得知其反應曲線之全貌，惟反應曲線 a" 恰好在 c 之延長線上，亦極似其推測之反應曲線。綜觀反應曲線 a, a' 和 a"，堆肥 18.7 t/ha 與不同用量化肥氮素配合施用所得效果係屬有機態氮和無機態氮相加之效果，看不出二者有任何相加乘效果；在上述試驗中 18.7 t/ha 堆肥所示效果始終是以氮素供應之效果為主，其肥效率且只及化肥氮素之 60％。

而表一亦顯示 48 年連用農家堆肥（其氮素含量相同於化學肥料區之氮肥用量），48 年共計施用氮素 8075 公斤/公頃，化學區及堆肥區水稻吸收之氮素量相近，不論施用的是化肥或堆肥所含之氮素被水稻吸收之比率相近，化肥區為 25.0％，堆肥區則為 25.7％，而資料亦示堆肥區之氮素損失率雖略低於化學區之 70.5

%，惟仍有高達 59.4 % 之氮素損失，顯示堆肥中之氮素養分，經礦化分解成無機態後，其行為亦如化學肥料氮素一般。而 Koyama (1996) 亦指出在一作洋蔥生育期間堆肥之氮素淋洗流失之比率達 40 %。

一般認為有機質肥料之肥效，旱田高於水田，除了養分供給之功能以外，有機質改善土壤物理性和生物性之功能更能在旱田發揮故。惟就土地利用性之旱田作物而言，施用有機質肥料之肥效以養分之釋出為主要。洛桑 (Rothamsted) 試驗場長達 26 年之長期有機肥和化學肥連用試驗，結果亦顯示 N_3 區 (N 145 kg/ha) 小麥收量高於 N_2 區 (N 98 kg/ha)，但相似於廄肥區 (35 t/ha) 之產量，亦可判釋廄肥區之肥效實為化學氮肥所可替代者。

圖三顯示堆肥和化肥氮素之配合施用一般雖優於化肥氮素之單施效果，惟化肥氮素用量增加時，此種收量差異終歸於零。可見堆肥之效果在此仍以氮素為主，並可以化肥氮素替代。圖四顯示堆肥對波菜有三要素以外之特殊效果。此等效果不能以 N 之增施替代。惟菠菜試驗地之台北土壤 pH 4.5 屬強酸性，而菠菜忌酸性土壤等事實，堆肥所表現之增產效果是否由於土壤 pH 之調整及所含高量鈣質所致，仍值得注意。而鄭 (1990) 亦指出施用有機肥區菠菜之收量高於化學肥區，惟有機肥區菠菜植體中硝酸態氮含量也如高量化學肥區一樣顯著增加。

圖五示日本神奈川縣試驗場於 1978 – 86 前後 9 年共 17 作蔬菜連用各種有機肥 (牛糞堆肥或菜仔粕)

和化學肥料 (磷酸銨複合肥料， 14-14-14) 之各區相對收量變遷。在此試驗中菜仔粕連用區之氮素用量與化肥區 (IF) 相同，均為每作 190 kg/ha 。牛糞堆肥區之氮素投入量雖高達化肥區之 3 倍，惟各作蔬菜之收量仍低於化肥區，由於蔬菜具有在短期間吸收大量要素之特性，相信係與氮素之礦化率低，氮素之供給量不足有關，雖然這種差異隨著堆肥之連用有逐漸縮小趨勢。

有機質肥料之肥效既與所含氮素之釋出關係最為密切，施用不同有機質肥料在複雜的土壤環境中，有關氮素礦化之模擬、預測或一定期間可礦化氮量之化學速測等，乃為有效應用有機質肥料之重要課題。相關之研究亦指出不同種類之有機質肥料在不同之土壤中，其氮素礦化量及對作物生長效應不同。

由於有機質肥料養分單價偏高及養分含量偏低、體積膨鬆，欲以有機肥料供應作物所需全部養分殆不可能。此外，作物的每一生長時期對養分之需求量因其生長量，根系之發育形態，及其吸收養分之機能而不同。故理想的施肥方法要能配合作物的生長時期，適時適量的施用肥料。合宜的施用化學肥料可成功地達到此目標，而有機質肥料施於土壤中需經過分解過程始可釋出作物所需養分，其分解速率除了有機質肥料本身之性質外尚受土壤及氣候環境、耕作制度等所影響；有關機制亟需研究模擬，才能估測施用有機質肥料可供給之養分，因此即使是充分腐熟的堆肥，也不能克服適時適量供應作物足量的養分之困難。故有機質肥料的施用必須配合適量化

學肥料，以符合經濟效益，並可供應作物充分養分。

四、省產有機質肥料成份穩定性之探討

圖六至圖八係依據農試所農化系化學分析室不同時間取樣分析市售幾種廠牌之雞糞堆肥、豬糞堆肥及牛糞堆肥之全氮含量及碳氮比之資料所繪，顯示其變異甚大，全氮含量代表堆肥可礦化供應之總氮量，而碳氮比則為堆肥礦化釋出氮素之重要指標，其變異大，對農友施用堆肥自然造成不良之影響。此外，圖九及圖十則顯示本省市售之禽糞堆肥之全氮含量之變異甚大，且有相當比率為水可溶性之無機態氮，最多達 50 % 左右，而雜項有機質肥料之全氮含量中水可溶之無機態氮部份更有高達 90 % 左右者，此與一般所謂有機質肥料之養分係緩慢釋放之認知，顯有差距，此種氮素養分之不穩定性，實不利於有機質肥料施用技術之建立。

五、長期施用之影響

長期過量的施用有機質肥料除了可能造成土壤中累積多量的有機質、礦化氮素量超過作物生長所需的氮素需要量，造成作物產量及品質下降及污染環境，此外，習慣常以氮素含量為估算施用量之基準常發生養分不均衡問題。表二顯示豬糞堆肥及雞糞堆肥所含之磷含量顯著多於氮素含量，洪 (1995) 亦指出豬糞堆肥之 $N:P_2O_5:K_2O$ 為 3.7 : 7.2 : 2.3 ，而王等 (1999) 指出 15 作蔬菜三要素之吸收量為氮 110 公斤公頃、磷酐 33 公斤/公

頃及氧化鉀 170 公斤/公頃，顯然蔬菜作物吸收磷素之量顯著少於氮素，因此以氮素含量為基準之施肥，必然造成磷肥過量，長期施用所造成的不平衡將更加嚴重，相關長期施用有機質肥料之試驗亦有土壤中磷及鉀鈣鎂要素高量累積之現象，其對土壤環境及其他養分元素之影響，值得加以關注。

故長期施用有機質肥料時，應配合施含氮量高之有機資材或化肥氮肥，既可減少有機質肥料用量，且可避免上述現象產生。此外，長期施用有機質肥料亦有造成土壤 pH 值顯著提昇之現象，趙等 (1996) 指出有機農耕法土壤 pH 值多在 7.2 及 8.3 之間，鍾及翁 (1998) 亦有施用有機質肥料顯著提昇土壤 pH 值之報告，而王等 (1999) 亦有指出有機蔬菜區三作蔬菜連續施用雞糞堆肥後，表土 pH 達 7.6 顯著高於化肥區之 6.2 ，鑑於部份營養元素在鹼性之土壤環境中有效性降低，及鹼性環境易使表施之銨態氮肥以氨氣之型態揮散，長期施用有機質肥料時，土壤 pH 之變動趨勢，實須加注意。

部份學術及農業試驗單位，分析過省產堆肥之品質，大家較注意的是重金屬含量偏高之問題，其中以銅、鋅、鋁、鎳較高 (表三) ，部份高於本省主要土類重金屬全量背景值之上限 (表四) ，相關試驗亦指出長期施用有機肥區表土萃取性銅與鋅量顯著高於化肥區，許等 (1998) 亦有施用牛糞堆肥及豬糞堆肥增加土壤中有效態銅鋅含量及狼尾草植體銅鋅含量之報告，惟研究指出土壤中重金屬經作物吸收後在植物體中之含量分別為：根部 > 莖

葉 > 果實，謝 (1998) 指出有機農法生產之農產品食用部位如毛豆仁、甜玉米粒、甘藍球部、糙米、青花菜花蕊等之重金屬含量並未高於化肥區之產品，譚等 (1998) 調查分析省產楊桃、番茄、番石榴、木瓜及茼蒿等蔬果之銅鋅含量，得到施用有機質肥料區與化學肥料區生產之各種蔬果銅鋅含量並沒有差異之結論。綜合以上資料，雖然禽畜糞堆肥施用於農田對土壤肥力有所助益，但長期施用時，其所含重金屬仍須加以注意，因重金屬在土壤中不易回收，且有機質肥料之施用量甚大，施用有機質肥料是否使農田土壤受重金屬污染之顧慮值得重視。

六、土壤診斷與施肥推薦

園藝作物常施肥過多，導致土壤中鹽分累積，作物生長受阻。此等情形尤以設施栽培為最。由於每作施肥量多，每作殘留的肥料量或有機質很多，此等殘留無機態養分量及有機質於下作期間可礦化之養分量等測定對於次作施肥量之調節甚為重要。藉土壤診斷以調節施肥乃益加必要。惟土壤診斷過去最缺者乃土壤有效態養分供應能力之測定，係因影響土壤有效養分礦化有關因素複雜，養分礦化量之預估較難故。

土壤速測是土壤肥力的快速診斷方法，係利用化學分析方法測定土壤樣品的若干物理化學性質與有效養分含量，藉以診斷該土壤的肥力狀況，進而推薦適當的施肥量。因此就土壤一定期間可礦化的養分量為對象，探討速測方法，以便掌土壤於一作期間可供應之養分量，

藉以調節其肥料施肥量。此外由於土壤水分管理模式影響土壤養分動態甚大，應列入施肥推薦時之重要參考因素，配合土壤速測之結果，教導農民合理的施用肥料，必然獲致高產量及高品質的農產品，且節省肥料支出，增加農民收益，對生態環境之維護亦有莫大的助益。

表一、連續 48 年之長期試驗中施用氮素殘留於土壤中及流失之比率（農試所，台灣，1924－1972）

Treatment	N added in 48 years kg/ha	N-uptake by rice plant kg/ha	% of added N absorbed by rice plant	Total N in soil after 48 years %	Total N in soil after 48 years kg/ha	% of added N left in soil	% of loss of added N
No fertilizer or manure	0	2812	0	A 0.15 B 0.09	2700 2700	—	—
Complete inorganic fertilizers	8075	4832	25.0	A 0.17 B 0.09	3060 2700	4.5	70.5
Farmyard manure & superphosphate	8075	4885	25.7	A 0.21 B 0.09	3600 3000	14.9	59.4

A-surface soil; Apparent density = 1.2; Soil depth = 15 cm; Weight = 1,800,000 kg/ha.
B-subsoil; Apparent density = 1.5; Soil depth = 20 cm; Weight = 3,000,000 kg/ha.
Source:Lin et al. 1973.

表二、幾種堆肥的成份含量

有機質資材的種類		水分 (%)	成分含量 (%) 碳	氮	磷酐	氧化鉀	碳氮比
堆肥類	稻草堆肥	75	7.6	0.4	0.2	0.4	19
	木質牛糞堆肥	60	17.5	0.7	0.6	0.7	25
	木質豬糞堆肥	60	17.1	0.9	1.3	0.7	19
	木質雞糞堆肥	50	20.0	1.0	2.0	1.1	20
	廄肥堆肥	60	10.8	0.3	0.1	0.04	36
	穀殼堆肥	55	22.0	0.5	0.6	0.5	44

（張學琨及羅秋雄 1994）

表三、台灣地區市售有機堆肥中重金屬含量

Table 3. The heavy metal contents of organic manure composts saled in Taiwan.

Kinds of Compost	No.	Cu	Zn	Cr	Ni	Pb	Cd	As	Hg	References
		mg/kg								
Hog	A	1460	3670	65.7	80.0	65.6	3.92	--	--	1
Hog	B	6-301	35-623	3-8486	3.5-176	0.5-60	ND-7.0	1.5-113	--	2
		(101)	(232)	(898)	(32)	(17)	(1.9)	(18)	--	
		(42%)	(5%)	(33%)	(33%)					
Hog	C	20-42	144-400	2.6-5.6	4.8-11.2	5-11	0.3-0.6	--	--	3
Chicken	D	9-394	56-1147	1-282	1.1-30	ND-183	ND-6.2	ND-27.3	--	2
		(99)	(286)	(23)	(12)	(14)	(14)	(9.6)	--	
		(33%)	(9%)	(1%)	(0%)					
Organic	E	51.9	210	695	11.2	21.8	2.52	19.6	0.04	4
Fertilizer		(5%)	(8%)	(29%)	(3%)	(5%)	--	--	--	

A：重金屬分析為先行高溫灰化，再以 0.1 M HCL 溶解測定，以平均值表示。

B&D：重金屬全量分析。樣品總數為豬糞堆肥 36 個，雞糞堆肥 35 個。括號為平均濃度。括號內之百分比為樣品濃度超過 Cu 100 mg/kg，Zn 500 mg/kg，Cr 150 mg/kg，及 Ni 25 mg/kg 之樣品數百分比。

C：重金屬分析為 0.1 M HCL 萃取濃度。

E：重金屬分析為全量分析。樣品總數為 37 個，以平均值表示。括號內之百分比為樣品濃度超過肥料上限規定之樣品數百分比。

--：無資料。

（陳尊賢 1995）

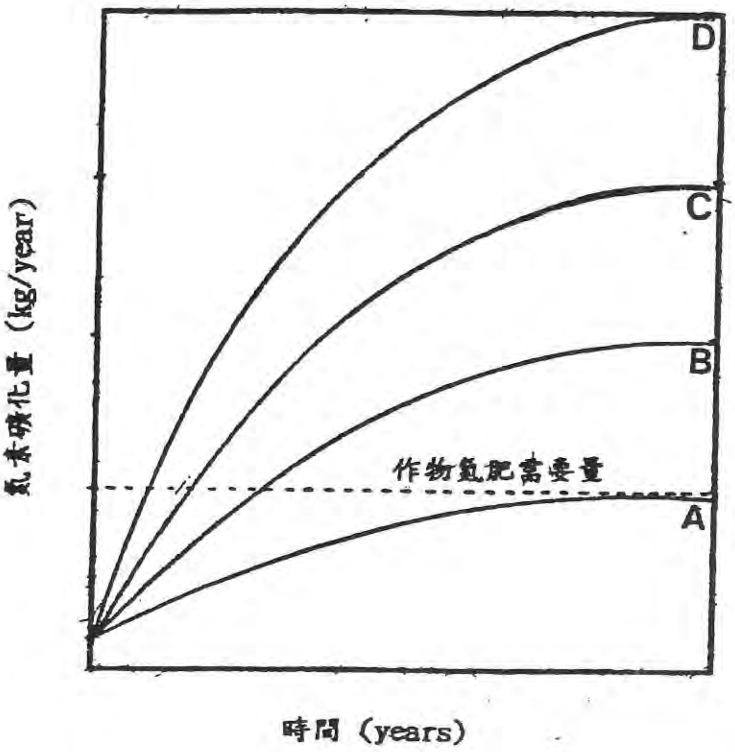
表四、台灣地區五個主要土類之重金屬全量之背景值之上限

Table 4. Background concentration of heavy metals in fives main soil group of Taiwan.

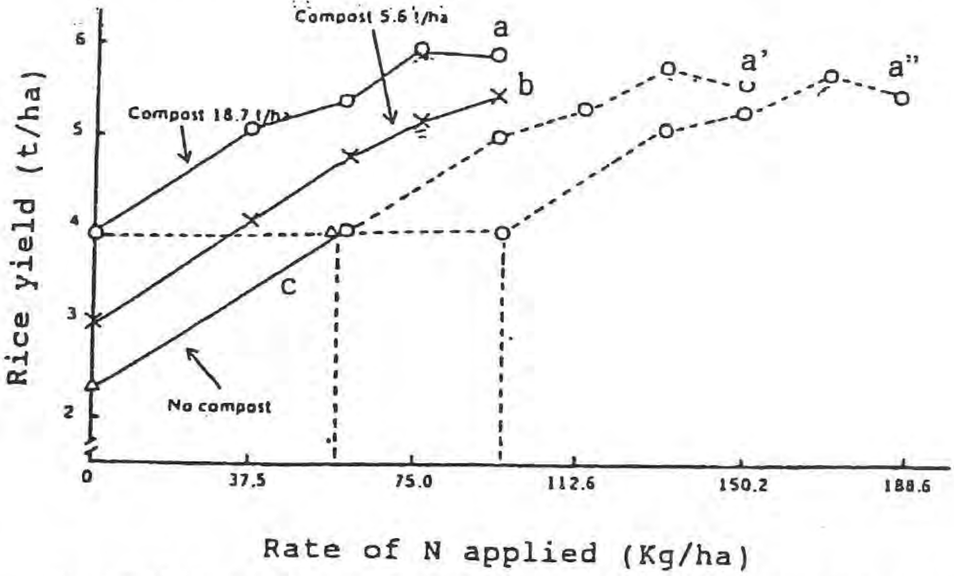
土類	樣品數	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
		mg/kg							
黏板岩沖積土	8	21.0	0.30	130	40.0	0.80	60.0	60.0	140
紅壤	6	16.0	0.10	110	30.0	0.10	35.0	30.0	95.0
黃壤	2	8.00	0.50	120	30.0	0.20	25.0	25.0	65.0
砂頁岩沖積土	9	17.0	0.20	150	90.0	0.40	40.0	60.0	160
片岩沖積土	2	15.0	0.20	150	30.0	0.10	55.0	25.0	75.0
Total++		17.0	0.50	170	100	0.60	75.0	85.0	160

+：原則上以平均值加 2 倍標準偏差值之濃度或累積樣品達 95%時之最高濃度考慮。

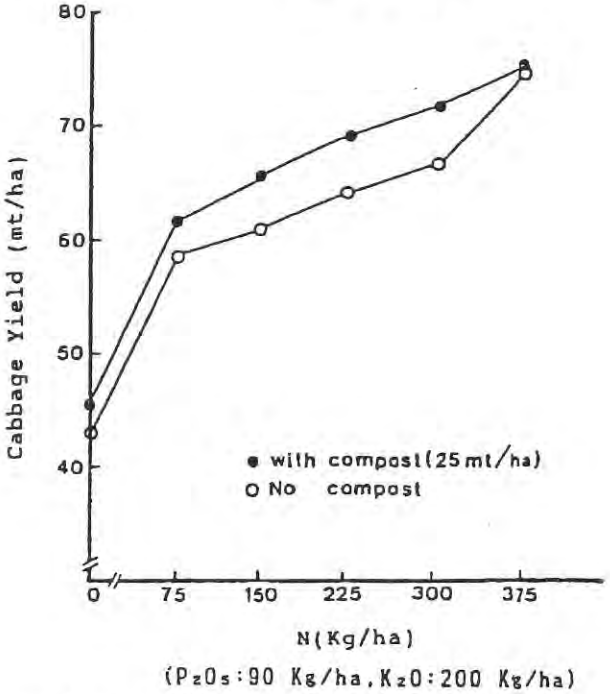
++：以 29 個代表土樣同時考慮之結果。 （陳尊賢 1992）



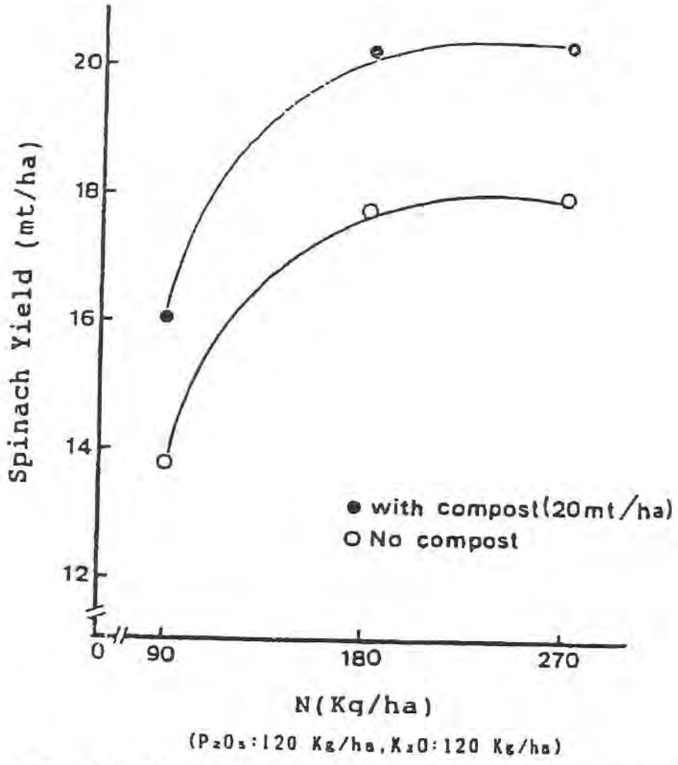
圖一、連用有機質肥料土壤氮素礦化量與時間之相關（A、B、C、D 分別代表施用有機質肥料之氮素量為作物氮肥需要量之 1、2、3、4 倍）



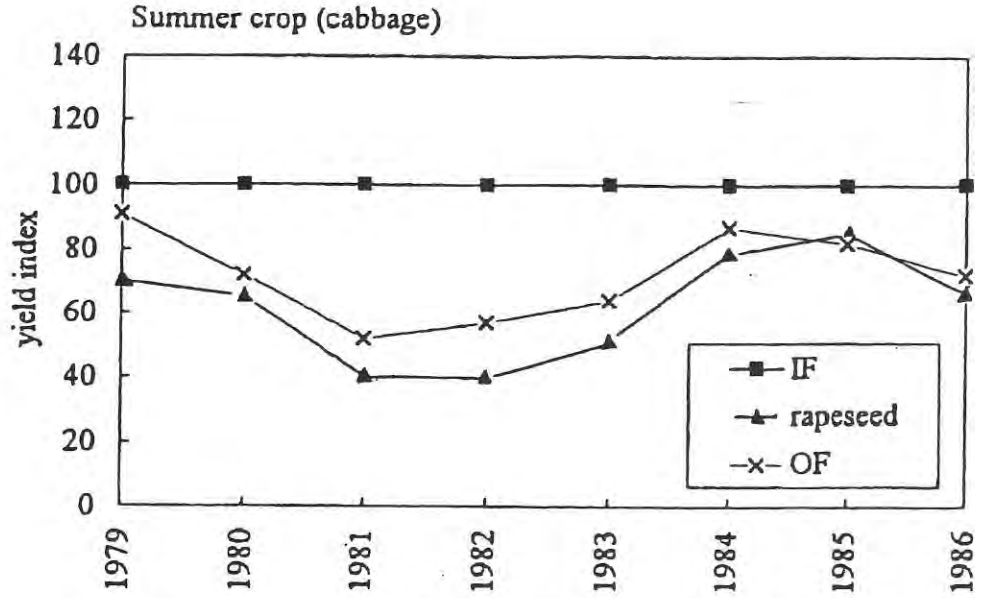
圖二、水稻收量對不同用量堆肥／化學氮肥之效應（連用試驗 22～26 年 5 間平均，Aomori, Japan） 資料來源：田中 1975



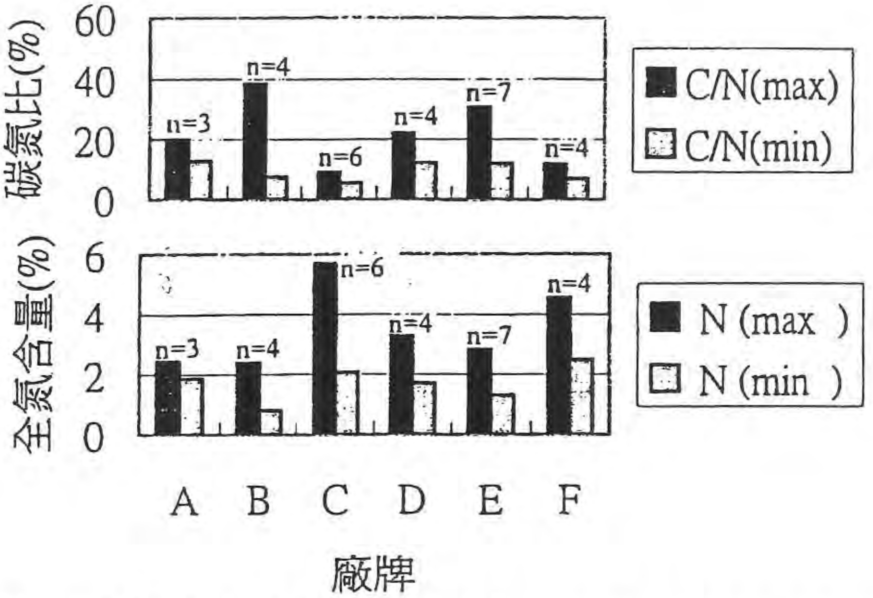
圖三、甘藍收量對不同用量堆肥／化學氮肥（尿素）之效應（彰化埔心，1970冬作） 資料來源：台中區農業改良場 1971



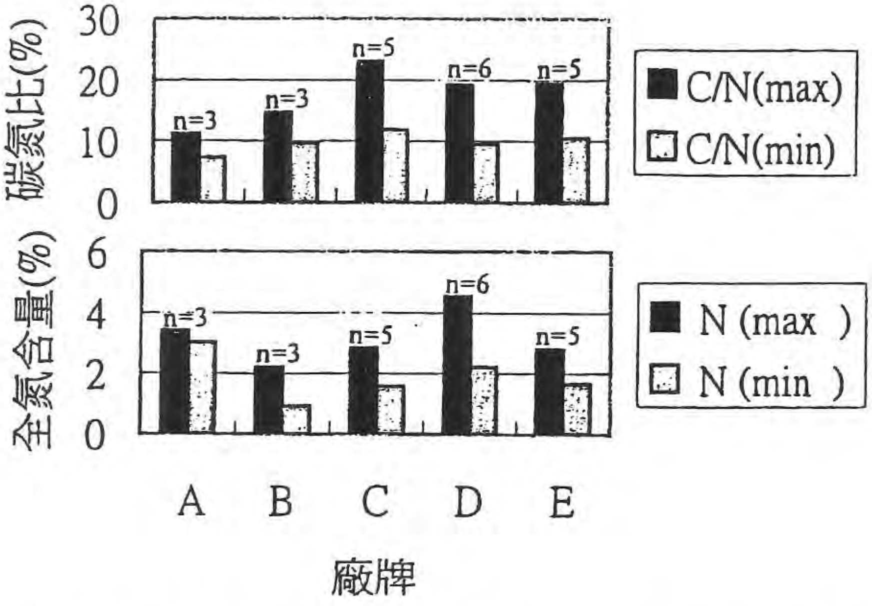
圖四、菠菜收量對不同用量堆肥／化學氮肥（尿素）之效應（彰化埔心，1970冬作） 資料來源：台北區農業改良場 1971



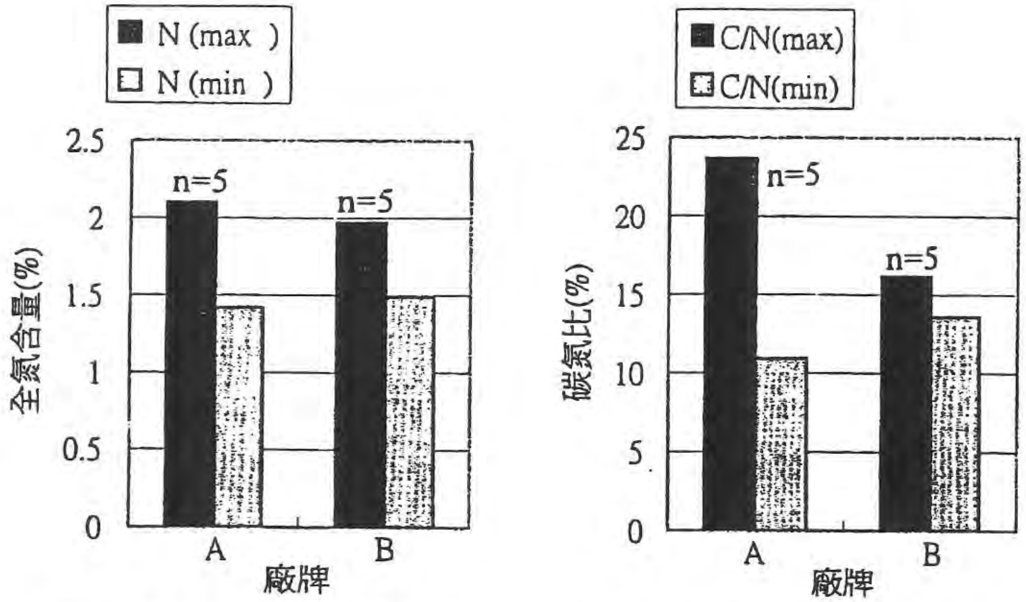
圖五、有機肥料與化學肥料連用試驗各區蔬菜相對收量之變遷



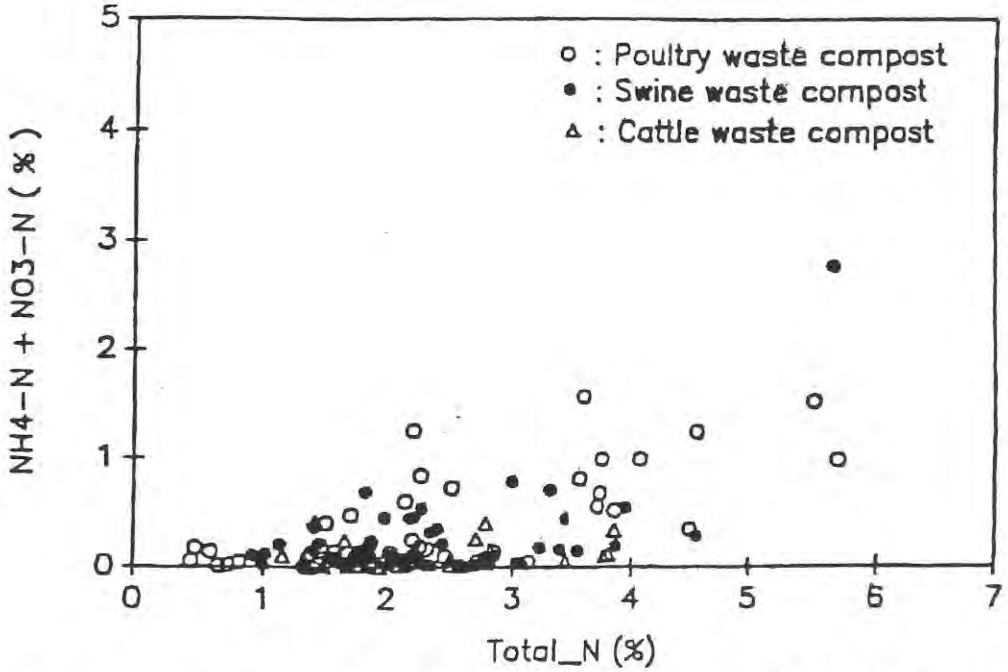
圖六、幾種雞糞堆肥全氮含量及碳氮比（n 代表採樣分析次數）



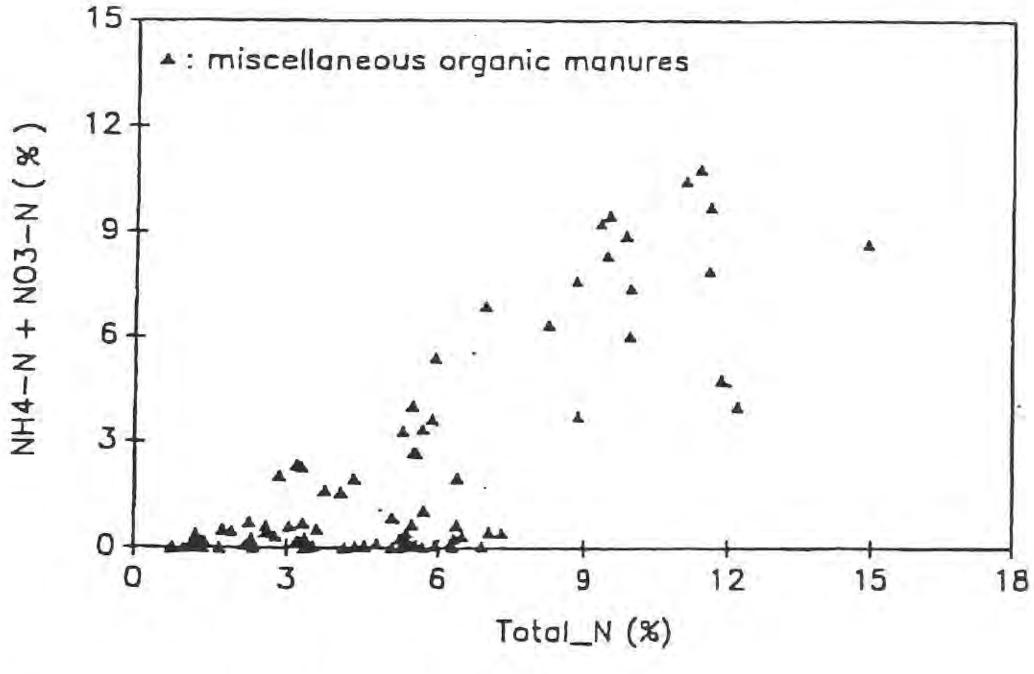
圖七、幾種豬糞堆肥全氮含量及碳氮比（n 代表採樣分析次數）



圖八、幾種牛糞堆肥全氮含量及碳氮比（n 代表採樣分析次數）



圖九、禽糞堆肥之全氮含量與無機態氮（銨態氮+硝酸態氮）含量之關係（李豔琪及連深 1997）



圖十、雜項有機質肥料之全氮含量與無機態氮（銨態和硝酸態）含量之關係 （李豔琪及連深 1997）

第十六章　廠商堆肥製造經驗發表

陳吉興

臺益工業股份有限公司

在臺灣近三十年來，養豬業、養乳牛、肉牛、養雞業等禽畜農牧產業，快速成長且大多是以企業化大量、大規模經營與飼養，造就臺灣農業面經濟提昇及農民高利潤、收入，相對，負面產生影響也出現，大量禽畜排泄物所造成環境污染，影響公共衛生、環境生態、臭氧等污染。國內環保意識抬頭，人民生活環境品質提昇，為解決禽畜糞污染，同時做廢棄物資源回收再利用，政府農政單位，因應農牧廢棄物再利用專案推廣堆肥，同時因應長期化肥施用下，酸性土壤改良、地力提升，民營廠商配合政府政策，因應經營業務提昇及農民農耕需要，產製堆肥。

一、民營廠商堆肥製造方式

（一）民營堆肥原料、副料來源。

（二）堆肥製造流程

1. 入廠前水份及副料調配情形。

2. 入廠後堆肥發酵處理方式。

【採靜置翻堆通氣式】

二、堆肥品管流程。

三、堆肥成品包裝和規格。

四、結語。

廠商堆肥製造經驗發表

洪堯棟　　張忠賀

福壽實業股份有限公司
肥料處經理　研究員

一、前言：

福壽實業股份有限公司成立於民國 9 年，為股票上市公司，目前實收資本額為新台幣 24 億元，年營業額約新台幣 50 億元。福壽實業從製油、飼料、食品、肥料、貿易起家，多元化地經營，向現代化、科學化、國際化的目標邁進，不斷研發生產符合消費者需求的產品來供應市場。目前集團下轄有機肥料事業部、飼料事業部、製油事業部、麥片事業部、食品事業部及投資事業部等六大事業部。

福壽實業公司有機肥料廠位於彰濱工業區鹿港東二（A）區，工廠定位為農業生物科技廠，廠址總面積為 38,239 平方公尺，初期投資金額約新台幣 4 億 6 仟萬元。農業生物科技廠設有肥料廠、生物技術研究室、農業資材研究室及品質管制室。主要產品有一般堆肥、微生物製劑、油粕類肥料、混合有機質肥料、雜項有機質肥料、含有機質複合肥料、休閒園藝用肥料、栽培介質及各種進口複合肥料與農業資材。

二、堆肥製造經驗談

（一）堆肥生產設施：

堆肥生產主要設施區分為原料儲存區、原料混合區（堆肥前處理區）、發酵區、後腐熟區、包裝區、成品堆置區（倉庫），其中發酵區面積約 3,344 平方公尺。為求產品品質穩定並設有品質管制室監測原料成份及產品品質，以及生物技術研究室持續篩選特性功能之有機分解菌。此外，為方便原料調度，於南投縣中寮鄉設有原料蒐集場，面積約 3,000 平方公尺。

（二）主要原料

1. 碳源：金針菇木屑。
2. 氮源：油粕、米糠等。
3. 其他：禽畜糞堆肥半成品。

（三）堆肥化方式

利用通氣性的靜置發酵槽 (aerated static piles) 進行堆肥生產，並以大型鏟裝車進行翻堆。發酵槽共 32 座，每座長度、寬度及高度為 8.0 M x 8.0 M x 2.5 M，分為前發酵區與後腐熟區。前發酵區有 16 座，每座發酵槽設有通氣管，溫度感應器與灑水設備，溫度控制與通氣皆為各自獨立的，並可進行自動控制。

（四）品質管制

肥料廠現址設有品質管制室，監測產品保證成份及其他成份分析。主要檢驗儀器設備為原子吸

光儀 (atomic absorption spectrophotometer)、紫外線與可見光分光光度計 (UV & visible spectrophotometer)、電導度測定儀 (electrical conductivity meter)、pH 測定儀 (pH meter)、電氣高溫爐 (可加熱至 600 ℃ 以上)、搖動機、振盪器、電動天平等等。

三、研究與發展

肥料廠現址設有生物技術研究室及農業資材研究室，主要研究儀器設備有無菌操作台(laminar flow)、離心機 (centrifuge)、乾式及濕式殺菌釜 (oven & autoclave)、超低溫冷凍櫃 (ultra low freezer)、培養箱 (incubator)、恒溫冰箱 (medicine cooler)、顯微鏡 (biological microscope) 及試驗與溫室等等。可進行菌種之初步篩選、分離、初步鑑定、活化、培養、親和性試驗、功能性試驗及菌種保存等等。除了研究堆肥相關之有機物分解菌外，可進一步開發微生物製劑產品。如本公司目前與食品工業研究所合作「複方微生物菌種之開發」計畫，研究兼具拮抗植物病原細菌及促進植物生長之微生物製劑和量產技術，目前已初步完成菌種之篩選、親和性試驗及功能性試驗，朝小型發酵槽量產技術及應用技術等研究中。

結語

生物技術已公認為二十一世紀重點產業之一，福壽實業

公司生物技廠將致力於農業生物製劑之研究與量產，並持續與政府行政單位、學術界及企業夥伴密切配合，共同為二十一世紀臺灣農業發展貢獻心力。

廠商堆肥製造經驗發表

雲林縣油車合作農場

張信傑

各級長官及來賓們：

這是雲林縣油車合作農場附設農牧廢資源處理中心暨堆肥廠，所提堆肥製造之經驗發表，油車合作農場目前有場員 107 位及糯米、有機米契作農戶約 200 戶，全體稻作面積約 600 公頃全年稻穀運銷數量約 7,000 噸，年產副產物粗糠約 1,500 噸及米糠 800 噸。

本場在中央及省政府農政機關及雲林縣政府所輔導之下，規劃設置農牧廢棄資源處理暨堆肥廠，有效的回收粗糠及米糠做為堆肥之主體原料，堆肥廠之總面積約 1 甲 7 分地除掉綠地道路辦公室有搭蓋廠房可供堆肥處理部份，約佔總面積之三分之一強，其處理流程大約如下：

第一階段：碾米廠碾米所剩副產物粗糠及米糠等，運往堆肥廠粗糠經粉碎機粉碎後混合，其它材料例如在鄰近鄉鎮所收集之食品廠副產物綠藻脫水污泥，味全企業之脫水污泥餅，種植金針茹採收後之鋸木屑，食品醱酵以糖蜜醱酵氨基酸縷結精成食品，再以活性碳未脫色之副產活性碳等材質。

第二階段：添加適量之蚵殼灰，菸屑粉未及米糠等做中

期的堆積醱酵其間以鏟土機適度翻堆，水分大約維持 50－65％ 之間，約經過 50～60 天的堆積醱酵期間。

第三階段：送入後期的醱酵槽，以自動翻堆機作定時之自動翻堆並地下管線送風，促進其醱酵達脫水加速腐熟之作用，約經 30 天後期醱酵，經包裝過篩，成品水份約 35 ％ ，將成品經包裝後出售，以上係堆肥處理之大致流程。

除了碾米廠所自有之粗糠米糠外由食品廠所收集來堆肥廠傾倒之副產物均詳細明白其成分及製程確認沒有鹽份，沒有重金屬，有毒物質方才讓其傾倒，同些食品廠之副產污泥，一般含氮量均高可彌補粗糠米糠等含碳素高材質的不足，同時增加了原本堆肥的量，有助於降低肥料之成本，有效再生利用農廢棄資源之目的，因增加了原本堆肥中之氮源碳氮比例降低了，也加速了堆肥的腐熟作用，提昇了堆肥的品質，這期間增加翻堆的次數及地下風管送風的呼數均可加快堆肥成品之乾燥及加速腐熟之目的。在後期醱酵槽中將腐熟度己充足之堆肥堆積，經包裝成成品即可銷售出去。

成品經商檢局分析結果有機質 60％ ，全氮量 1.2％ ，全磷酐 1.2％ 及全氧化鉀 0.6％ ，有害物均在標準以內，以上是油車合作農所提之堆肥製造之經驗發表承，請各級長官專家們以及同業先進們，不吝惠于提供寶貴經驗及指意見期能更有進步。

書名：	堆 肥 製 造 技 術 Composting Technology
發行人：	林俊義
編輯：	陳武雄　林俊義　簡宣裕　林木連　鄭智馨　張明暉
出版機關：	行政院農業委員會農業試驗所 中華永續農業協會 台中縣霧峰鄉中正路 189 號
電話：	04-3302301
網址：	http://128.1.1.4
出版日期：	中華民國八十八年九月
印刷：	信成股份有限公司
工本費：	300 元
ISBN：	957-02-5038-0
統一編號：	025264880192

中華永續農業協會

永續

CHINESE SUSTAINABLE AGRICULTURE ASSOCIATION

統 一 編 號
025264880192

ISBN
957-02-5038-0